数控编程100例丛书

第2版

数控手工编程100例

陈艳红　主编

● 详细讲解手工编程的方法与技巧。
● 涉及数控车床、数控铣床（加工中心）、数控电火花线切割机床。






机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

数控编程 100 例丛书

数控手工编程 100 例

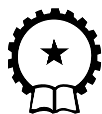
第 2 版

主　编　陈艳红

副主编　吴长有　刘自范

参　编　李自鹏　齐红卫

主　审　刘德平



机 械 工 业 出 版 社

本书以国内外主流的FANUC系统、SIEMENS系统为平台，以典型零件的数控编程与加工为主线，精选100个实例，由浅入深、循序渐进地介绍数控机床手工编程的方法与技巧，语言简洁，层次清晰。全书共分三篇8章，第1篇（第1～3章）介绍数控车床编程基础知识与编程实例，第2篇（第4～6章）介绍数控铣床（加工中心）编程基础知识与编程实例，第3篇（第7、8章）介绍数控电火花线切割机床编程基础知识与编程实例。

本书可作为生产一线从事数控机床应用的工程技术人员的参考用书和继续教育书籍，也可作为高等院校、高职高专、中职中专相关专业的实训教材。

图书在版编目（CIP）数据

数控手工编程100例/陈艳红主编．—2版．—北京：机械工业出版社，2014.8
（数控编程100例丛书）
ISBN 978-7-111-47245-2

Ⅰ．①数…　Ⅱ．①陈…　Ⅲ．①数控机床—程序设计　Ⅳ．①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字（2014）第147193号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号　邮政编码100037）
策划编辑：周国萍　　责任编辑：周国萍
版式设计：霍永明　　责任校对：肖　琳
封面设计：马精明　　责任印制：乔　宇
唐山丰电印务有限公司印刷
2014年9月第2版第1次印刷
184mm×260mm·19.25印张·463千字
0 001—3000册
标准书号：ISBN 978-7-111-47245-2
定价：59.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务
社服务中心：（010）88361066
销售一部：（010）68326294
销售二部：（010）88379649
读者购书热线：（010）88379203

策划编辑：（010）88379733
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

第 2 版前言

数控机床是制造业的加工母机和国民经济的重要基础。它为国民经济各个部门提供装备和手段，具有较大的经济与社会效应。为提高加工效率，改善产品质量，完成难以加工的部件加工，用数控设备取代传统的普通设备已成为大势所趋。随着制造业中数控设备所占的份额越来越大，现代企业对掌握数控编程和加工技术人才的需求量越来越大。既有较强编程和数控工艺设计能力，又有较高数控操作加工能力的数控技术高技能人才已被各制造业竞相引进。

本书根据教育部等国家部委组织实施的“职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程”中有关数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养指导方案的精神，及教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》，按照国家职业技能鉴定标准中级工（部分提高到高级工）的要求进行编写，目的在于普及和提高数控加工技术，推广现代制造技术的应用。通过本书 100 个编程实例的学习，读者可以很快掌握数控手工编程技巧，提高数控编程水平。

本书在第 1 版的基础上，精选 100 个实例进行讲解，以目前数控机床的主流操作系统——FANUC 系统、SIEMENS 系统为平台，着重介绍数控车削、数控铣削（加工中心）、数控电火花线切割机床的手工编程方法及技巧。每个实例从零件加工特征分析、工件坐标系的设定、加工工艺制订到数控程序的编制，语言简洁、层次清晰、步骤详细。

本书由陈艳红任主编，吴长有、刘自范任副主编，李自鹏、齐红卫参加编写。其中，陈艳红编写第 3、6 章，吴长有编写第 2 章，刘自范编写第 5 章，李自鹏编写第 7、8 章，齐红卫编写第 1、4 章及附录。全书由陈艳红负责统稿，并由郑州大学刘德平教授担任主审。

本书在编写过程中得到了有关企业和兄弟院校的支持与帮助，并参考了有关文献资料，在此一并表示感谢！由于时间仓促和水平有限，书中难免存在一些不足和疏漏之处，敬请读者批评指正！

编　者

2014 年 8 月

目　录

第 2 版前言

第 1 篇　数控车床编程实例……1

第 1 章　数控车床编程基础……2

1.1　数控车床概述……2

1.1.1　数控车床的功能及特点……2

1.1.2　数控车床的分类……3

1.2　数控车削加工工艺基本知识……5

1.2.1　数控车床的工件装夹……5

1.2.2　数控车床的刀具……6

1.2.3　数控车削加工工艺的制订……10

1.2.4　数控车床切削用量的选择……14

1.3　数控车床的编程要点……16

1.3.1　数控车床的编程特点及坐标系……16

1.3.2　对刀及设置工件原点的方法……17

1.3.3　刀具补偿及参数的设定……19

第 2 章　FANUC 数控车床编程实例……23

2.1　阶梯轴类零件编程加工（4 例）……23

2.1.1　实例 1—— 阶梯轴类零件编程加工（一）……23

2.1.2　实例 2—— 阶梯轴类零件编程加工（二）……25

2.1.3　实例 3—— 阶梯轴类零件编程加工（三）……27

2.1.4　实例 4—— 阶梯轴类零件编程加工（四）……29

2.2　成形面类零件编程加工（2 例）……31

2.2.1　实例 5—— 成形面类零件编程加工（一）……31

2.2.2　实例 6—— 成形面类零件编程加工（二）……34

2.3　槽类零件编程加工（2 例）……35

2.3.1　实例 7—— 槽类零件编程加工（一）……35

2.3.2　实例 8—— 槽类零件编程加工（二）……36

2.4　螺纹类零件编程加工（3 例）……39

2.4.1　实例 9—— 螺纹类零件编程加工（一）……39

2.4.2　实例 10—— 螺纹类零件编程加工（二）……41

2.4.3　实例 11—— 螺纹类零件编程加工（三）……44

2.5　盘套类零件编程加工（3 例）……46

2.5.1　实例 12—— 盘套类零件编程加工（一）……46

2.5.2　实例 13—— 盘套类零件编程加工（二）……48

2.5.3　实例 14—— 盘套类零件编程加工（三）……51

2.6　非圆曲线类零件编程加工（2 例）……53

2.6.1　实例 15—— 非圆曲线类零件编程加工（一）……53

2.6.2　实例 16—— 非圆曲线类零件编程加工（二）……56

2.7　综合类零件编程加工（4 例）……59

2.7.1　实例 17—— 综合类零件编程加工（一）……59

2.7.2　实例 18—— 综合类零件编程加工（二）……61

2.7.3　实例 19—— 综合类零件编程加工（三）……65

2.7.4　实例 20—— 综合类零件编程加工（四）……69

2.8　配合类零件编程加工（2 例）……71

2.8.1　实例 21—— 配合类零件编程加工（一）……71

2.8.2　实例 22—— 配合类零件编程加工（二）……74

第 3 章　SIEMENS 数控车床编程实例……80

3.1　阶梯轴类零件编程加工（4 例）……80

3.1.1　实例 23—— 阶梯轴类零件

编程加工（一）……80
3.1.2 实例 24—— 阶梯轴类零件编程加工（二）……81
3.1.3 实例 25—— 阶梯轴类零件编程加工（三）……83
3.1.4 实例 26—— 阶梯轴类零件编程加工（四）……85
3.2 成形面类零件编程加工（2 例）……87
3.2.1 实例 27—— 成形面类零件编程加工（一）……87
3.2.2 实例 28—— 成形面类零件编程加工（二）……90
3.3 槽类零件编程加工（2 例）……92
3.3.1 实例 29—— 槽类零件编程加工（一）……92
3.3.2 实例 30—— 槽类零件编程加工（二）……93
3.4 螺纹类零件编程加工（3 例）……95
3.4.1 实例 31—— 螺纹类零件编程加工（一）……95
3.4.2 实例 32—— 螺纹类零件编程加工（二）……97
3.4.3 实例 33—— 螺纹类零件编程加工（三）……98
3.5 盘套类零件编程加工（3 例）……100
3.5.1 实例 34—— 盘套类零件编程加工（一）……100
3.5.2 实例 35—— 盘套类零件编程加工（二）……102
3.5.3 实例 36—— 盘套类零件编程加工（三）……103
3.6 非圆曲线类零件编程加工（2 例）……106
3.6.1 实例 37—— 非圆曲线类零件编程加工（一）……106
3.6.2 实例 38—— 非圆曲线类零件编程加工（二）……110
3.7 综合类零件编程加工（4 例）……114
3.7.1 实例 39—— 综合类零件编程加工（一）……114
3.7.2 实例 40—— 综合类零件编程加工（二）……116
3.7.3 实例 41—— 综合类零件编程加工（三）……118
3.7.4 实例 42—— 综合类零件编程加工（四）……120
3.8 配合类零件编程加工（2 例）……122
3.8.1 实例 43—— 配合类零件编程加工（一）……122
3.8.2 实例 44—— 配合类零件编程加工（二）……128
第 2 篇 数控铣床（加工中心）编程实例……135
第 4 章 数控铣床（加工中心）编程基础……136
4.1 数控铣床（加工中心）概述……136
4.1.1 数控铣床（加工中心）的功能及特点……136
4.1.2 数控铣床（加工中心）的分类……137
4.2 数控铣削加工工艺基本知识……139
4.2.1 数控铣床（加工中心）的工件装夹……139
4.2.2 数控铣床（加工中心）的刀具……140
4.2.3 数控铣床（加工中心）加工工艺的制订……142
4.2.4 数控铣削切削用量的选择……146
4.3 数控铣床（加工中心）的编程要点……147
4.3.1 数控铣床（加工中心）的编程特点及坐标系……147
4.3.2 对刀及设置工件原点的方法……148
4.3.3 刀具补偿及参数的设定……151
第 5 章 FANUC 数控铣床（加工中心）编程实例……154
5.1 平面图形类零件编程加工（1 例）
实例 45—— 平面图形类零件编程加工……154
5.2 轮廓类零件编程加工（3 例）……156
5.2.1 实例 46—— 轮廓类零件编程加工（一）……156
5.2.2 实例 47—— 轮廓类零件编程加工（二）……158
5.2.3 实例 48—— 轮廓类零件编程加工（三）……160
5.3 槽类零件编程加工（4 例）……162

5.3.1 实例 49—— 槽类零件编程加工（一）……162
5.3.2 实例 50—— 槽类零件编程加工（二）……163
5.3.3 实例 51—— 槽类零件编程加工（三）……165
5.3.4 实例 52—— 槽类零件编程加工（四）……167
5.4 孔系编程加工（4 例）……169
5.4.1 实例 53—— 孔系编程加工（一）……169
5.4.2 实例 54—— 孔系编程加工（二）……171
5.4.3 实例 55—— 孔系编程加工（三）……173
5.4.4 实例 56—— 孔系编程加工（四）……174
5.5 型腔类零件编程加工（2 例）……176
5.5.1 实例 57—— 型腔类零件编程加工（一）……176
5.5.2 实例 58—— 型腔类零件编程加工（二）……179
5.6 曲面类零件编程加工（2 例）……181
5.6.1 实例 59—— 曲面类零件编程加工（一）……181
5.6.2 实例 60—— 曲面类零件编程加工（二）……183
5.7 综合类零件编程加工（4 例）……184
5.7.1 实例 61—— 综合类零件编程加工（一）……184
5.7.2 实例 62—— 综合类零件编程加工（二）……187
5.7.3 实例 63—— 综合类零件编程加工（三）……190
5.7.4 实例 64—— 综合类零件编程加工（四）……193
5.8 配合类零件编程加工（2 例）……196
5.8.1 实例 65—— 配合类零件编程加工（一）……196
5.8.2 实例 66—— 配合类零件编程加工（二）……200
第 6 章 SIEMENS 数控铣床（加工中心）编程实例……209
6.1 平面图形类零件编程加工（1 例）……209
实例 67—— 平面图形类零件编程加工……209
6.2 轮廓类零件编程加工（3 例）……211
6.2.1 实例 68—— 轮廓类零件编程加工（一）……211
6.2.2 实例 69—— 轮廓类零件编程加工（二）……215
6.2.3 实例 70—— 轮廓类零件编程加工（三）……216
6.3 槽类零件编程加工（4 例）……218
6.3.1 实例 71—— 槽类零件编程加工（一）……218
6.3.2 实例 72—— 槽类零件编程加工（二）……221
6.3.3 实例 73—— 槽类零件编程加工（三）……223
6.3.4 实例 74—— 槽类零件编程加工（四）……224
6.4 孔系编程加工（4 例）……226
6.4.1 实例 75—— 孔系编程加工（一）……226
6.4.2 实例 76—— 孔系编程加工（二）……228
6.4.3 实例 77—— 孔系编程加工（三）……230
6.4.4 实例 78—— 孔系编程加工（四）……232
6.5 型腔类零件编程加工（2 例）……235
6.5.1 实例 79—— 型腔类零件编程加工（一）……235
6.5.2 实例 80—— 型腔类零件编程加工（二）……237
6.6 曲面类零件编程加工（2 例）……241
6.6.1 实例 81—— 曲面类零件编程加工（一）……241
6.6.2 实例 82—— 曲面类零件编程加工（二）……243

6.7 综合类零件编程加工（4 例）············245
6.7.1 实例 83—— 综合类零件编程加工（一）·····························245
6.7.2 实例 84—— 综合类零件编程加工（二）·····························248
6.7.3 实例 85—— 综合类零件编程加工（三）·····························251
6.7.4 实例 86—— 综合类零件编程加工（四）·····························254
6.8 配合类零件编程加工（2 例）············258
6.8.1 实例 87—— 配合类零件编程加工（一）·····························258
6.8.2 实例 88—— 配合类零件编程加工（二）·····························261
第 3 篇 数控电火花线切割机床编程实例·································267
第 7 章 数控电火花线切割机床编程基础·····························268
7.1 数控电火花线切割机床概述···············268
7.1.1 数控电火花线切割加工的特点······268
7.1.2 数控电火花线切割机床的分类与组成····································269
7.2 数控电火花线切割加工工艺基本知识····271
7.2.1 工件的装夹与调整·························271
7.2.2 数控电火花线切割加工工艺··········272
7.3 数控电火花线切割机床编程要点·······274
第 8 章 数控电火花线切割机床编程实例·····································277
8.1 3B 代码编程（3 例）···························277
8.1.1 实例 89——3B 代码编程（一）····277
8.1.2 实例 90——3B 代码编程（二）····278
8.1.3 实例 91——3B 代码编程（三）····280
8.2 ISO 代码编程（9 例）························281
8.2.1 实例 92——ISO 代码编程（一）···281
8.2.2 实例 93——ISO 代码编程（二）···282
8.2.3 实例 94——ISO 代码编程（三）···284
8.2.4 实例 95——ISO 代码编程（四）···285
8.2.5 实例 96——ISO 代码编程（五）···286
8.2.6 实例 97——ISO 代码编程（六）···289
8.2.7 实例 98——ISO 代码编程（七）···290
8.2.8 实例 99——ISO 代码编程（八）···291
8.2.9 实例 100——ISO 代码编程（九）·293
附录 常用材料及刀具切削参数推荐值···295
参考文献···297

第 1 篇

数控车床编程实例

- 数控车床编程基础
- FANUC 数控车床编程实例
- SIEMENS 数控车床编程实例

第1章 数控车床编程基础

1.1 数控车床概述

1.1.1 数控车床的功能及特点

1. *数控车床的特点*

数控车床是目前使用最广泛的数控机床之一。数控车床是由数控系统、床身、主轴、进给系统、回转刀架、操作面板和辅助系统等部分组成。数控车床是在普通车床的基础上发展而来的，数控车床加工有普通车床无法比拟的优点。

（1）传动链短　与普通车床相比，主轴驱动不再是电动机→传送带→齿轮副机构变速，而是采用横向和纵向进给分别由两台伺服电动机驱动刀架运动完成，不再使用交换齿轮、离合器等传动部件，传动链大大缩短。

（2）刚性高　为了与数控系统的高精度相匹配，数控机床的刚性高，以适应高精度的加工。

（3）轻拖动　刀架移动采用滚珠丝杠副，摩擦小，移动轻便。丝杠两端的支撑是专用轴承，其压力角比普通轴承大，在出厂时便选配好；数控车床的润滑部分采用油雾自动润滑，这些措施都使数控车床移动轻便。

2. *数控车床的加工特点*

数控车床主要用于加工轴类、盘类等回转体零件。通过数控加工程序的运行，可自动完成内外圆柱面、圆锥面、成形表面、螺纹和端面等工序的切削加工，并能进行车槽、钻孔、扩孔、铰孔等工作。数控车床可在一次装夹中完成更多的加工工序，提高了加工精度和生产效率，特别适合复杂形状的回转类零件的加工。图 1-1 所示为数控车床加工的典型零件。

（1）自动化程度高　可以减轻操作者的体力劳动强度。数控加工过程是按输入的程序自动完成的，操作者只需开始时对刀、装卸工件、更换刀具，加工过程中，主要观察和监督机床运行即可。但是，由于数控车床的技术含量高，操作者的脑力劳动强度相应提高。



图 1-1　数控车床加工的典型零件

（2）加工的零件精度高、质量稳定　数控车床的定位精度和重复定位精度都很高，较容易保证一批零件尺寸的一致性，只要工艺设计和程序正确合理，加上精心操作，就可以保证零件获得较高的加工精度，也便于对加工过程实行质量控制。

（3）生产效率高　数控车床加工时能在一次装夹中加工多个加工表面，但一般只检测首件，所以可以省去普通机床加工时的不少中间工序，如划线、尺寸检测等，减少了辅助时间和机动时间。由于数控加工的零件质量稳定，会给后续工序带来方便，其综合效率明显提高。

（4）便于新产品开发和改型　数控加工一般不需要很多复杂的工艺装备，通过编制加工程序就可把形状复杂、精度要求较高的零件加工出来。当产品改型、更改设计时，只要改变程序，而不需要重新设计工艺装备。所以，数控加工能大大缩短产品研制周期，为新产品的研制开发和产品的改进、改型提供了捷径。

（5）有利于现代化管理　数控车床加工所使用的刀具和夹具可进行规范化、现代化管理。数控车床使用数字信号和标准代码作为控制信息，易于实现加工信息的标准化，它与计算机辅助设计和制造（CAD/CAM）有机地结合起来，是现代集成制造技术的基础。

1.1.2　数控车床的分类

随着数控车床制造技术的不断发展，形成了产品繁多、规格不一的车床，因而也出现了几种不同的分类方法。

1. 按车床主轴位置分类

（1）立式数控车床　立式数控车床简称数控立车，如图 1-2 所示。其车床主轴垂直于水平面，一个直径很大的圆形工作台用来装夹工件。这类机床主要用于加工径向尺寸大、轴向尺寸相对较小的大型复杂零件。

（2）卧式数控车床　卧式数控车床又分为数控水平导轨卧式车床和数控倾斜导轨卧式车床。其倾斜导轨结构可以使车床具有更大的刚性，并易于排除切屑，如图 1-3 所示。



图 1-2　立式数控车床



图 1-3　卧式数控车床

2. 按加工零件的基本类型分类

（1）卡盘式数控车床　卡盘式数控车床没有尾座，适合车削盘类（含短轴类）零件。夹紧方式多为电动或液动控制，卡盘结构多具有可调卡爪或不淬火卡爪（即软卡爪）。

（2）顶尖式数控车床　顶尖式数控车床配有普通尾座或数控尾座，适合车削较长的零件及直径不太大的盘类零件。

3. **按刀架数量分类**

（1）单刀架数控车床　单刀架数控车床一般都配置有各种形式的单刀架，如四工位卧式回转刀架或多工位转塔式自动转位刀架，如图 1-4 所示。

（2）双刀架数控车床　双刀架数控车床的双刀架配置平行分布，也可以相互垂直分布，如图 1-5 所示。

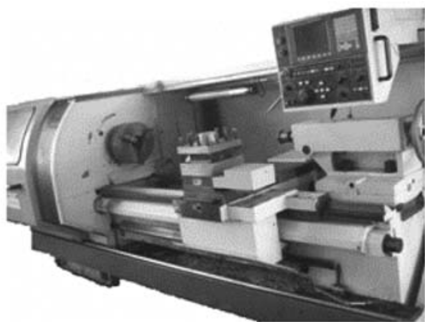


图 1-4　单刀架数控车床

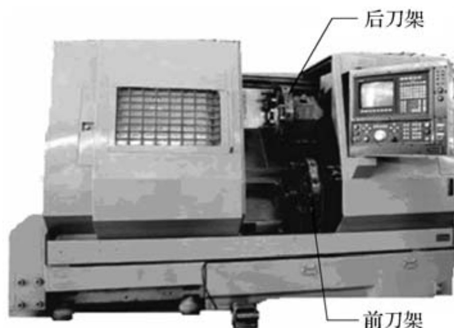


图 1-5　双刀架数控车床

4. **按功能分类**

（1）经济型数控车床　经济型数控车床一般用单板机或单片机进行控制，机械部分是在卧式车床的基础上改进设计的。它成本较低，但自动化程度和功能都比较差，车削加工精度也不高，适合要求不高的回转类零件的车削加工，如图 1-6 所示。

（2）普通数控车床　普通数控车床是根据车削加工要求在结构上进行专门设计并配备通用数控系统而形成的数控车床。其数控系统功能强，自动化程度和加工精度也比较高，适合一般回转类零件的车削加工。这种数控车床可同时控制两个坐标轴，即 X 轴和 Z 轴。

（3）车削加工中心　车削加工中心是在普通数控车床的基础上增加了 C 轴和动力头的更高级的数控车床，带有刀库，可控制 X、Z 和 C 三个坐标轴，联动控制轴可以是（X，Z）、（X，C）或（Z，C）。由于增加了 C 轴和铣削动力头，这种数控车床的加工功能大大增强，除了可以进行一般车削外，还可以进行径向和轴向铣削、曲面铣削、中心线不在零件回转中心的孔和径向孔的钻削等加工。车削中心如图 1-7 所示。



图 1-6　经济型数控车床

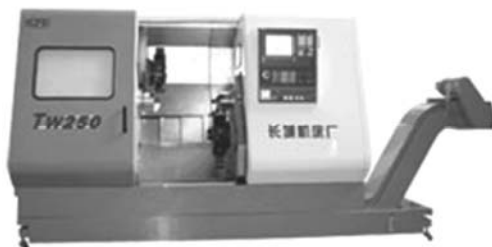
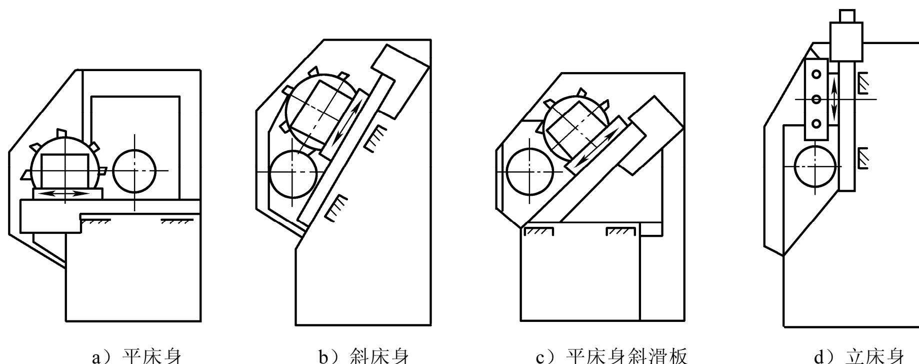


图 1-7　车削中心

5. **按数控车床的布局分类**

数控车床的布局形式与普通车床基本一致，但数控车床刀架和导轨的布局形式直接影响着数控车床的使用性能及机床结构和外观。另外，数控车床上都设有封闭的防护装置。

数控车床床身导轨与水平面的相对位置如图 1-8 所示，它有四种布局形式，如图 1-8a 所示为平床身，图 1-8b 所示为斜床身，图 1-8c 所示为平床身斜滑板，图 1-8d 所示为立床身。



a）平床身　b）斜床身　c）平床身斜滑板　d）立床身

图 1-8　数控车床床身导轨与水平面的相对位置图

1）平床身的工艺性好，便于导轨面的加工。平床身配上水平放置的刀架可提高刀架的运动精度，一般可用于大型数控车床或小型精密数控车床的布局。但是由于平床身下部空间小，故排屑困难。从结构尺寸上看，刀架水平放置使滑板横向尺寸较长，从而加大了机床宽度方向的结构尺寸。

2）平床身配置倾斜放置的滑板，并配置倾斜式导轨防护罩，这种布局形式一方面有平床身工艺性好的特点，另一方面机床宽度方向的尺寸较水平配置滑板的小，且排屑方便。平床身配上倾斜放置的滑板和斜床身配置斜滑板的布局形式被中、小型数控车床普遍采用。这两种布局形式的特点是：排屑容易，热铁屑不会堆积在导轨上，也便于安装自动排屑器；操作方便，易于安装机械手，以实现单机自动化；机床占地面积小，外形简单、美观，容易实现封闭式防护。

3）斜床身其导轨倾斜的角度分别为 30°、45°、60°、75°和 90°（称为立床身）。若倾斜角度小，排屑不便；若倾斜角度大，导轨的导向性差，受力情况也差。导轨倾斜角度的大小还会直接影响机床外形尺寸高度与宽度的比例。综合考虑上面的因素，中小规格的数控车床其床身的倾斜角度以 60°为宜。

1.2　数控车削加工工艺基本知识

1.2.1　数控车床的工件装夹

1. 定位基准的选择

在数控车削中，应尽量让零件在一次装夹下完成大部分甚至全部表面的加工。对于轴类零件，通常以零件自身的外圆柱面作定位基准；对于套类零件，则以内孔作定位基准。

2. 常用车削夹具和装夹方法

在数控车床上装夹工件时，应使工件相对于车床主轴轴线有一个确定的位置，并且在工件受到各种外力的作用下，仍能保持其既定位置。常用装夹方法见表 1-1。

表 1-1 数控车床常用的装夹方法

序号	装夹方法	特点	适用范围
1	自定心卡盘	夹紧力较小，夹持工件时一般不需要找正，装夹速度较快	适于装夹中小型圆柱形、正三边形或正六边形工件
2	单动卡盘	夹紧力较大，装夹精度较高，不受卡爪磨损的影响，但夹持工件时需要找正	适于装夹形状不规则或大型的工件
3	两顶尖及鸡心夹头	用两端中心孔定位，容易保证定位精度，但由于顶尖细小，装夹不够牢靠，不宜用大的切削用量进行加工	适于装夹轴类零件
4	一夹一顶	定位精度较高，装夹牢靠	适于装夹轴类零件
5	中心架	配合自定心卡盘或单动卡盘来装夹工件，可以防止弯曲变形	适于装夹细长的轴类零件
6	心轴与弹簧卡头	以孔为定位基准，用心轴装夹来加工外表面，也可以外圆为定位基准，采用弹簧卡头装夹来加工内表面，工件的位置精度较高	适于装夹内外表面的位置精度要求较高的套类零件

1.2.2 数控车床的刀具

1. 数控车床刀具的分类

与普通机床加工方法相比，数控加工对刀具提出了更高的要求：不仅需要刚性好，精度高，而且要求尺寸稳定，寿命长，断屑和排屑性能好；同时要求安装调整方便，以满足数控机床高效率的要求。数控车床刀具种类繁多，功能互不相同。根据不同的加工条件正确选择刀具是编制程序的重要环节，因此必须对车刀的种类及特点有一个基本的了解。

（1）根据加工用途分类　车床主要用于回转表面的加工，如内（外）圆柱面、圆锥面、圆弧面、螺纹、切槽等切削加工。因此，数控车床使用的刀具可分为外圆车刀、内孔车刀、螺纹车刀、切槽刀等。图 1-9 为常用车刀。

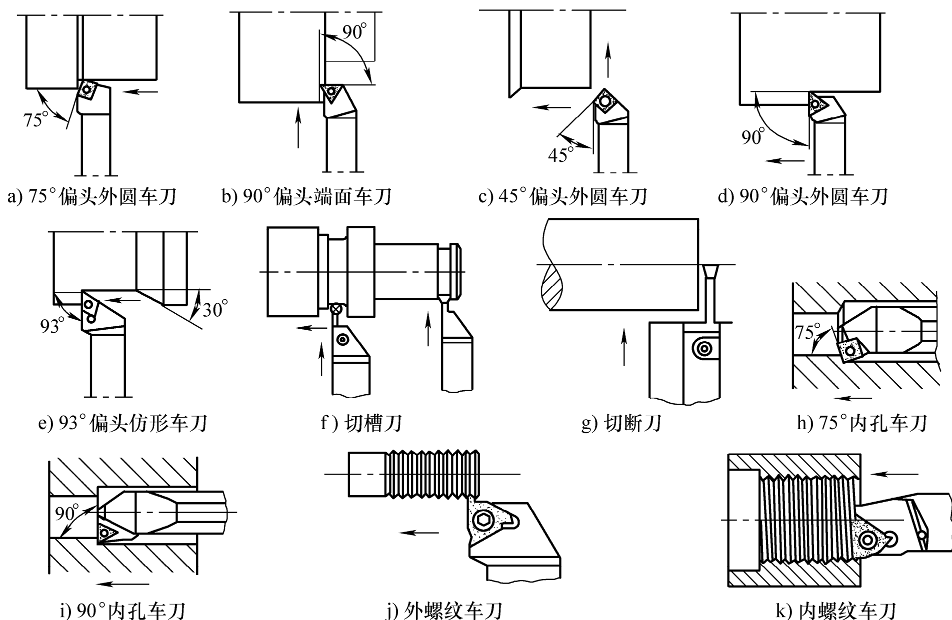


图 1-9 常用车刀

（2）根据刀尖形状分类　数控车削常用的车刀按照刀尖的形状一般分为三类，即尖形车刀、圆弧形车刀和成形车刀，如图 1-10 所示。

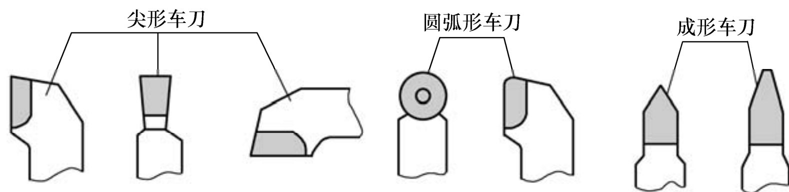


图 1-10 按刀尖形状分类的数控车刀

尖形车刀主要用于车削内外轮廓、直线沟槽等直线形表面。

圆弧形车刀可以用于车削内、外表面，特别适宜车削各种光滑连接（凹形）的成形面，如精度要求高的内外圆弧面及尺寸要求高的内外圆锥面等。由尖形车刀自然或经修磨而成的车刀也属于这一类。

常见的成形车刀有小半径圆弧车刀、非矩形切槽刀和螺纹车刀等。在数控车床上，除进行螺纹加工外，应尽量少用或不用成形车刀，当确有必要选用时，则应在工艺准备文件或加工程序单上进行详细说明。

（3）根据车刀结构分类　数控车刀在结构上可分为整体式车刀、焊接式车刀和机械夹固（简称机夹）式车刀三类，其中机夹式车刀又分为机夹刀片可重磨式车刀和机夹刀片可转位式车刀两种，如图 1-11 所示。

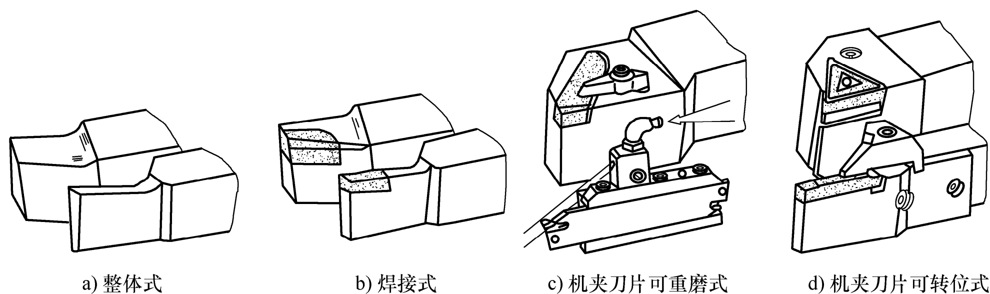


图 1-11 数控车刀的结构型式

整体式车刀（图 1-11a）主要是整体式高速钢车刀。通常用于小型车刀、螺纹车刀和形状复杂的成形车刀。它具有抗弯强度高、冲击韧度好、制造简单、刃磨方便和刃口锋利等优点。

焊接式车刀（图 1-11b）是将硬质合金刀片用焊接的方法固定在刀体上，经刃磨而成。这种车刀结构简单，制造方便，刚性较好，但抗弯强度低，冲击韧度差，切削刃不如高速钢车刀锋利，不易制作复杂刀具。图 1-12 为常用焊接式车刀。

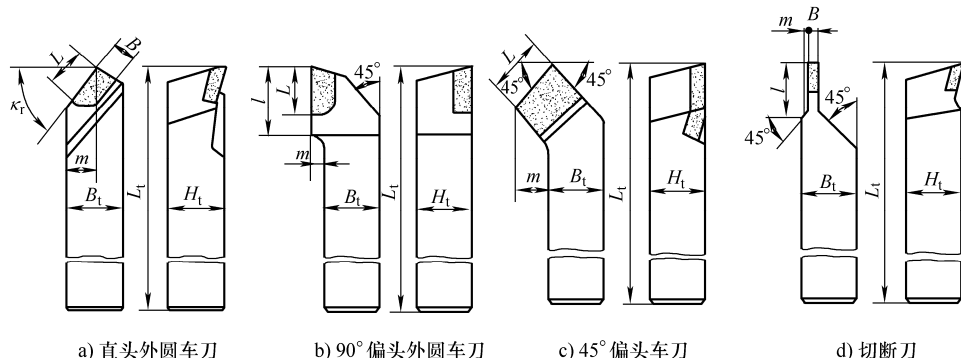
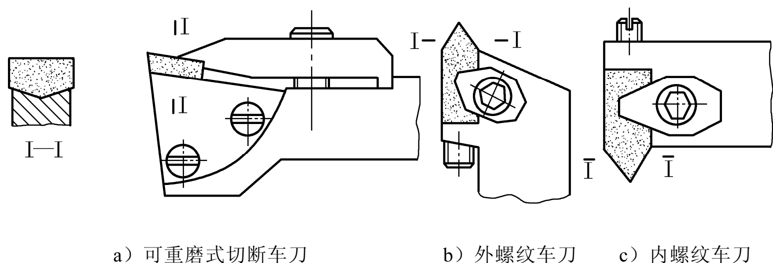


图 1-12 常用焊接式车刀

机夹刀片可重磨式车刀（图 1-11c）是将普通的硬质合金刀片通过机械夹固方法安装在刀杆上的一种车刀，刀片用钝后可以修磨，修磨后，通过调节螺钉把刃口调整到适当位置，压紧后便可继续使用。图 1-13 为机夹刀片可重磨式切断车刀和内、外螺纹车刀。



a）可重磨式切断车刀　　b）外螺纹车刀　　c）内螺纹车刀

图 1-13　机夹刀片可重磨式切断车刀和内、外螺纹车刀

机夹刀片可转位式车刀（图 1-11d）是将标准的硬质合金刀片通过机械夹固方法安装在刀杆上的一种车刀，其刀片为多边形，有多条切削刃，当某条切削刃磨损钝化后，只需松开夹固元件，将刀片旋转一个位置便可继续使用。其最大优点是车刀的几何角度完全由刀片保证，切削性能稳定，刀杆和刀片已标准化，加工质量好，是当前数控车床上使用最广泛的一种车刀。

在数控车床的加工过程中，为了减少换刀时间和方便对刀，便于实现加工自动化，应尽量选用机夹可转位车刀。目前，70%～80%的自动化加工刀具已使用了机夹可转位车刀。

2. 数控车刀的刀具材料

常用的数控刀具材料有高速钢、硬质合金、涂层硬质合金、陶瓷、立方氮化硼、聚晶金刚石等。其中，高速钢、硬质合金和涂层硬质合金在数控车削刀具中应用较广。

在材料的硬度、耐磨性方面，以金刚石为最高，立方氮化硼、陶瓷、硬质合金、高速钢依次降低；而从材料的韧性来看，则高速钢最高，硬质合金、陶瓷、立方氮化硼、金刚石依次降低。在数控车床中，目前采用最为广泛的刀具材料是涂层硬质合金。因为从经济性、适应性、多样性、工艺性等多方面考虑，涂层硬质合金的综合效果都优于陶瓷、立方氮化硼和金刚石。

3. 机夹可转位刀片

在数控车床加工中，应用最多的是硬质合金和涂层硬质合金刀片。机夹可转位刀片的具体形状已经标准化，且每一种形状均有一个相应的代码表示。

（1）机夹可转位刀片的形状　常用的可转位车刀刀片形状及角度如图 1-14 所示。

在选择刀片形状时要特别注意，有些刀片，虽然其形状和刀尖角度相等，但由于同时参加切削的切削刃数不同，因此其型号也不相同。

一般外圆车削常用 W 型、S 型和 C 型刀片；仿形加工常用 D 型、R 型刀片；90°主偏角车刀常用 T 型刀片。不同的刀片形状有不同的刀尖强度。一般刀尖越大，刀尖强度越大；反之亦然。R 型刀片刀尖最大。在选用时，应根据加工条件恶劣与否，按重、中、轻切削有针对性地选择。在机床刚度、功率允许的条件下，大余量、粗加工应选用刀尖角较大的刀片；反之，在机床刚度和功率小的条件下，小余量、精加工时宜选用较

小刀尖角的刀片。

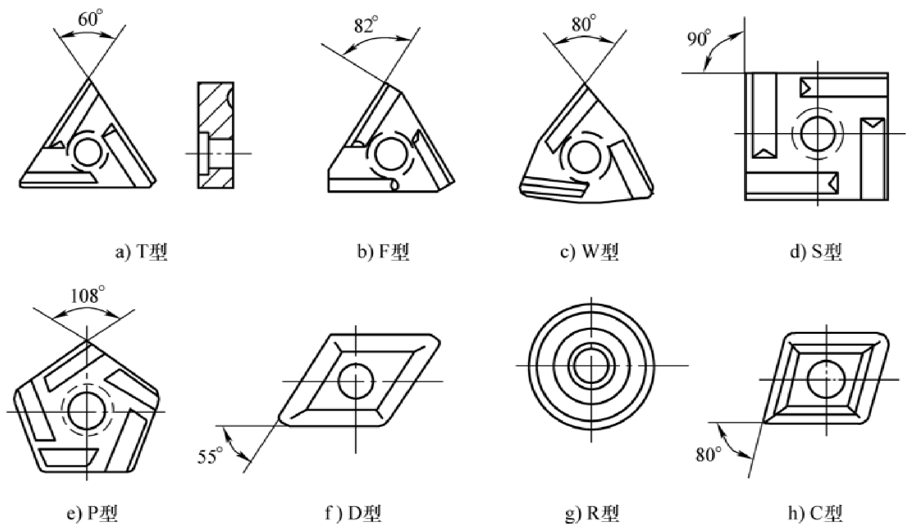


图 1-14　常用可转位车刀刀片

（2）机夹可转位刀片的代码　硬质合金可转位刀片的国家标准采用了 ISO 国际标准。产品型号的表示方法、品种规格、尺寸系列、制造公差以及测量方法等，都与 ISO 国际标准相同。为适应我国国情，在国际标准规定的 9 个号位之后，加一短横线，再用一个字母和一位数字表示刀片断屑槽形式和宽度。因此，我国可转位刀片的型号，共用 10 个号位的内容来表示主要参数的特征。可转位刀片型号表示方法如图 1-15 所示。

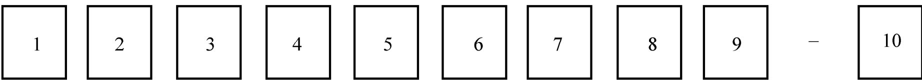


图 1-15　机夹可转位刀片型号表示方法

10 个号位所表示的内容见表 1-2。

表 1-2　可转位刀片 10 个号位表示的内容

位　号	表 示 内 容	代 表 符 号	备　注
1	刀片形状及其夹角	一个英文字母	具体含义应查有关标准
2	刀片主切削刃法向后角	一个英文字母	
3	刀片内接圆直径 d 与厚度 S 的精度级别	一个英文字母	
4	刀片类型、固定方式及有无断屑槽	一个英文字母	
5	刀片主切削刃长度	两位数字	
6	刀片厚度，主切削刃到刀片定位底面的距离	两位数字	
7	刀尖圆弧半径或刀尖转角形状	两位数字或一个英文字母	
8	切削刃形状	一个英文字母	
9	刀片切削方向	一个英文字母	
10	制造商选择代号（断屑槽形及槽宽）	英文字母或数字	

例如，TNUM160408ER-A2 中：T 表示 60°三角形刀片；N 表示刀具法向主后角为 0º；U 表示刀片内接圆直径 d 为 6.35mm 时，刀片转位尺寸公差为±0.013mm，内接圆公差为±0.08mm，厚度公差为±0.013mm；M 表示圆柱孔夹紧，单面断屑槽；16 表示切削刃长 16mm；04 表示刀片厚度为 4.76mm；08 表示刀尖圆弧半径为 0.8mm；E 表示切削刃倒圆；R 表示刀片切削方向向右；A2 表示直沟卷屑槽，槽宽 2mm。

（3）刀片常用参数的选择

1）刀片后角的选择。常用的刀片后角有 N（0°）、C（7°）、P（11°）和 E（20°）等。一般粗加工、半精加工可用 N 型，半精加工、精加工可用 C、P 型。可用带断屑槽的 N 型刀片加工铸铁、硬钢和不锈钢，可用 C、P 型加工铝合金，可用 P、E 型加工弹性恢复性好的材料。一般孔加工刀片可选用 C、P 型，大尺寸孔可选用 N 型。

2）刀片切削方向的选择。刀片切削方向有 R（右手）、L（左手）和 N（左右手）三种。要注意区分左、右刀的方向。选择时要考虑车床刀架是前置式还是后置式，前面是向上还是向下，主轴的旋转方向及进给方向等。

3）刀尖圆弧半径的选择。刀尖圆弧半径不仅影响切削效率，而且关系到被加工表面的表面粗糙度及加工精度。从刀尖圆弧半径与最大进给量的关系来看，最大进给量不应超过刀尖圆弧半径的 80%，否则将恶化切削条件，甚至出现螺纹状表面和打刀等问题。刀尖圆弧半径还与断屑的可靠性有关，为保证断屑，切削余量和进给量有一个最小值。当刀尖圆弧半径减小，所得到的这两个最小值也相应减小，因此，从断屑可靠出发，通常对小余量、小进给车削加工采用小的刀尖圆弧半径，反之宜采用较大的刀尖圆弧半径。

粗车时，进给量不能超过表 1-3 给出的最大进给量。作为经验法则，一般进给量可取为刀尖圆弧半径的一半。精加工的表面质量不仅受刀尖圆弧半径和进给量的影响，而且受工件装夹稳定性、夹具和机床的整体条件等因素的影响。

表 1-3　不同刀尖圆弧半径时的最大进给量

刀尖圆弧半径/mm	0.4	0.8	1.2	1.6	2.4
最大推荐进给量/（mm/r）	0.25～0.35	0.4～0.7	0.5～1.0	0.7～1.3	1.0～1.8

1.2.3　数控车削加工工艺的制订

由于数控车床具有加工精度高、能进行直线和圆弧插补以及在加工过程中能自动变速的特点，因此数控车床加工的工艺范围较普通车床宽得多。数控车削中心可在一次装夹中完成更多的加工工序，提高了加工精度和生产效率，特别适合复杂形状回转类零件的加工。

制订加工工艺是数控车削加工的前期工艺准备工作。加工工艺制订得合理与否，对程序编制、机床的加工效率和加工精度都有很大的影响。

1. 工序的划分

在数控车床上加工零件，应按工序集中的原则划分工序，在一次装夹下尽可能完成大部分甚至全部表面的加工。在批量生产中，常用下列方法划分工序。

（1）按零件加工表面划分工序　即以完成相同型面的那一部分工艺过程为一道工序。

对于加工表面多而复杂的零件，可按其结构特点（如内形、外形、曲面和平面等）划分成多道工序。

将位置精度要求较高的表面在一次装夹下完成，以免多次定位夹紧产生的误差影响位置精度。如图 1-16 所示套类零件，按照零件的工艺特点，将外轮廓和内轮廓的粗、精加工各放在一道工序内完成，减少了装夹次数，有利于保证同轴度。

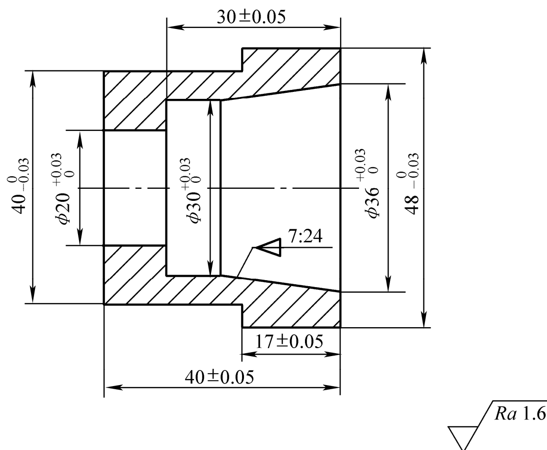


图 1-16　套类零件加工路线分析

（2）按粗、精加工划分工序　即粗加工中完成的那部分工艺过程为一道工序，精加工中完成的那一部分工艺过程为另一道工序。对毛坯余量较大和加工精度要求较高的零件，应将粗车和精车分开，划分成两道或更多道的工序。将粗车安排在精度较低、功率较大的数控机床上进行，将精车安排在精度较高的数控机床上完成。

这种划分方法适用于加工后变形较大，需粗、精加工分开的零件，例如毛坯为铸件、焊接件或锻件的零件。

（3）按所用的刀具种类划分工序　以同一把刀具完成的那一部分工艺过程为一道工序，这种方法适用于工件的待加工表面较多、机床连续工作时间较长、加工程序的编制和检查难度较大的情况。

如图 1-16 所示工件，按所用的刀具种类，其工序划分如下：

工序一：钻头钻孔，去除加工余量。

工序二：采用外圆车刀粗、精加工外形轮廓。

工序三：内孔车刀粗、精车内孔。

对同一方向的外圆切削，应尽量在一次换刀后完成，避免频繁更换刀具。例如，车削图 1-17a 所示的手柄零件，该零件加工所用坯料为ϕ32mm 棒料，批量生产，加工时用一台数控车床。其工序的划分及装夹方案如下：

工序一：夹持棒料外圆柱面，如图 1-17b 所示，将一批工件全部车出，包括切断。工序内容有：先车出ϕ12mm 和ϕ20mm 两圆柱面及圆锥面（粗车掉 *R*42mm 圆弧的部分余量），换刀后按总长要求留下加工余量，然后切断。

工序二：用ϕ12mm 外圆及ϕ20mm 端面装夹，如图 1-17c 所示。工序内容有：先车削包络 *SR*7mm 球面的 30º 圆锥面，然后对全部圆弧表面半精车（留少量精车余量），最后换精车刀将全部圆弧表面一刀精车成形。

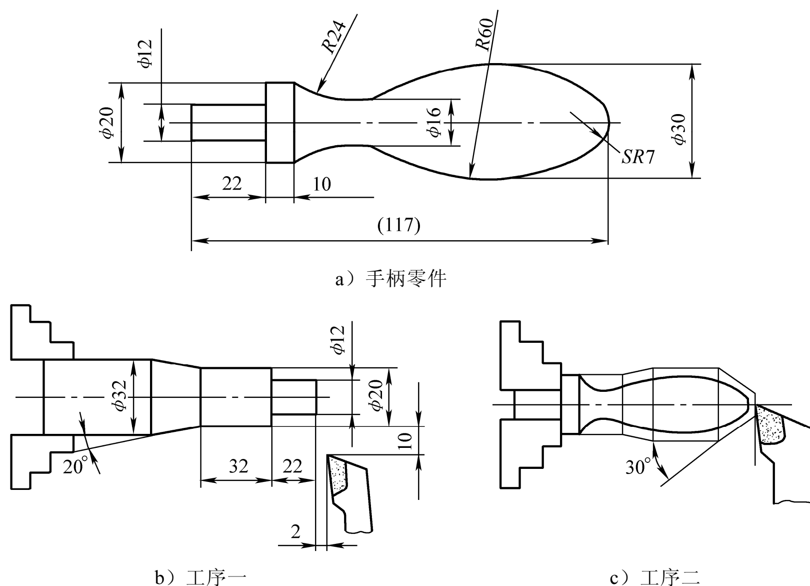


图 1-17　手柄零件加工路线分析

（4）按安装次数划分工序　以一次安装完成的那一部分工艺过程为一道工序。这种方法适用于工件的加工内容不多的工件，加工完成后就能达到待检状态。

如图 1-18 所示的轴类零件，其工序划分如下：

工序一：以毛坯的粗基准定位加工左端轮廓。

工序二：以加工好的外圆表面定位加工右端轮廓。

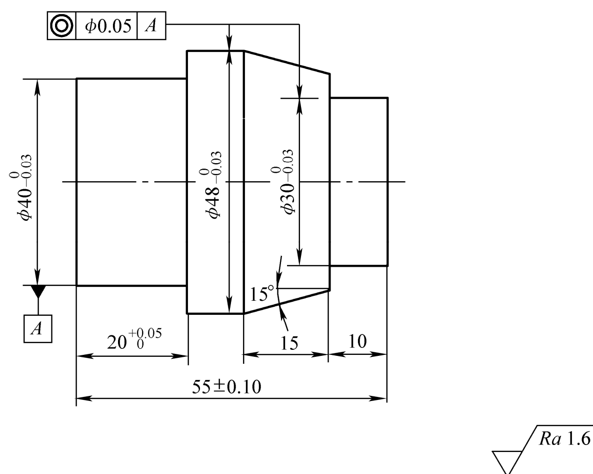


图 1-18　轴类零件加工路线分析

2. 加工顺序的确定

为了达到质量优、效率高和成本低的目的，在对零件图进行认真、仔细的分析后，制订加工方案应遵循以下基本原则：先粗后精，先近后远，内外交叉，程序段最少，走刀路

线最短。

（1）先粗后精　指按照粗车→半精车→精车的顺序，逐步提高加工精度。粗加工工序，可在短时间内去除大部分加工余量；半精加工工序使精加工余量小而均匀；零件的成形表面应由最后一刀的精加工工序连续加工而成，尽量不要在其中安排切入和切出或换刀及停顿，以免因切削力突然变化而造成弹性变形，致使光滑连接轮廓上产生表面划伤、形状突变或滞留刀痕等瑕疵。

例如，当加工图 1-19 所示零件时，为了提高生产效率并保证零件的精加工质量，在切削加工时，应先安排粗加工工序，在较短的时间内，将精加工前的大部分加工余量去掉，同时尽量保证精加工的余量均匀，因此应先将图中双点画线内所示部分切除。

（2）先近后远　这里所说的远与近，是按加工部位相对于对刀点的距离大小而言的。在一般情况下，特别是在粗加工时，通常安排离对刀点近的部位先加工，离对刀点远的部位后加工，以便缩短刀具移动距离，减少空行程时间。对于车削而言，先近后远还有利于保持坯件或半成品的刚性，改善其切削条件。

例如，当加工图 1-20 所示零件时，如果按照零件直径尺寸先大后小的顺序进行车削，一定会增加刀具返回对刀点的空运行时间，还会使得各端面处产生毛刺。对这类直径相差不大的台阶轴，当第一刀背吃刀量（图 1-20 中最大背吃刀量可为 3mm 左右）在车床的允许范围内，宜按ϕ34mm→ϕ36mm→ϕ38mm 的顺序先近后远地安排车削加工。

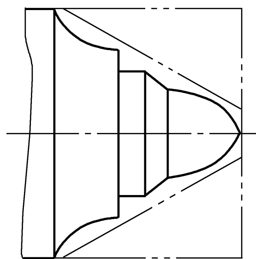


图 1-19　先粗后精示例

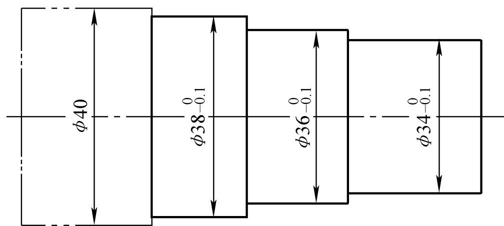


图 1-20　先近后远示例

（3）内外交叉　对既有内表面（内型腔）又有外表面需要加工的零件，安排加工顺序时，应先进行内外表面粗加工，后进行内外表面精加工。切不可将零件上一部分表面（外表面或内表面）加工完毕后，再加工其他表面（内表面或外表面）。

3. 确定刀具的进给路线

确定数控车削加工进给路线的重点，主要在于确定粗车加工切削过程与空行程的进给路线；精加工切削过程的进给路线，基本上都是沿着零件轮廓的顺序进行的。

如用 G02（或 G03）指令车削圆弧，若一刀就把圆弧加工出来，背吃刀量太大，容易打刀。所以实际车圆弧时，需要多刀加工，先将大部分余量切除，最后才车出所需圆弧。图 1-21a 为车锥法，这种加工路线刀具切削路线短，加工效率高，但计算麻烦。图 1-21b 为移圆法，采用这种加工路线编程简便，若处理不当，会导致较多的空行程。图 1-21c 为车圆法，采用这种加工路线时，每次车削圆弧的起点、终点坐标较易确定，数值计算简单，编程方便，常采用。图 1-21d 为台阶车削法，此方法刀具切削运动距离较短，但数值计算较繁。这种加工方法在复合固定循环中被广泛使用。

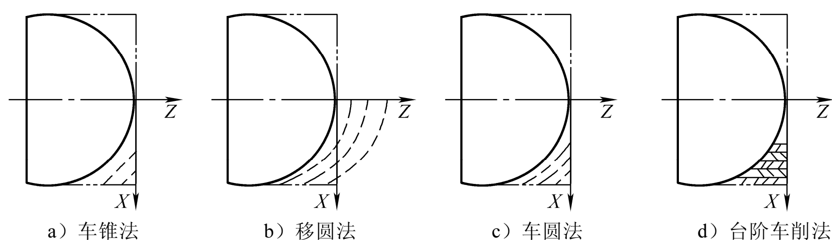


图 1-21　圆弧的车削方法

圆锥车削时的加工路线常用以下几种：图 1-22a 为台阶车削法，这种加工方法在复合固定循环中被广泛使用；图 1-22b 为平行车削法，采用这种加工路线时，加工效率高，但计算麻烦；图 1-22c 为终点车削法，采用这种加工路线时，刀具的终点坐标相同，无需计算终点坐标，计算方便，但每次切削过程中，背吃刀量是变化的，而刀具切削运动的路线较长。

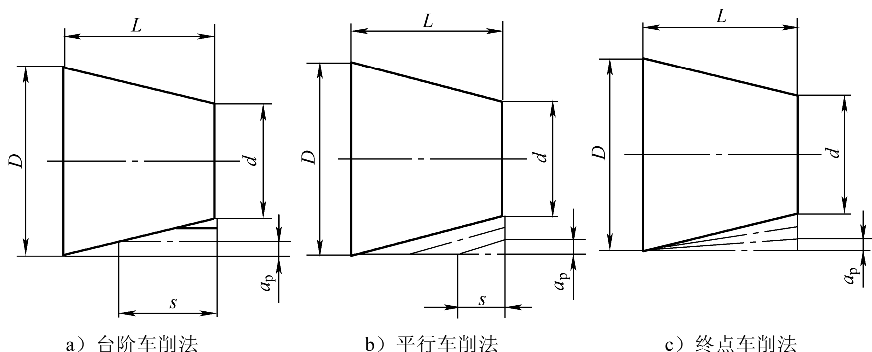


图 1-22　圆锥的车削方法

1.2.4　数控车床切削用量的选择

切削用量选择是否合理，对于能否充分发挥机床潜力与刀具切削性能，实现优质、高产、低成本和安全操作具有很重要的作用。数控车削加工中的切削用量包括背吃刀量 a_p、主轴转速 n 或切削速度 v_c（用于恒线速度切削）、进给速度 v_f 或进给量 f。这些参数均应在机床给定的允许范围内选取。

1. 背吃刀量的确定

工件上已加工表面与待加工表面的垂直距离称背吃刀量 a_p，即车刀进给时切入工件的深度（mm）。

粗加工时，除留下精加工余量外，一次进给尽可能切除全部余量。在工艺系统刚度和机床功率允许的情况下，尽可能选取较大的背吃刀量，以减少进给次数。当零件精度要求较高时，则应考虑留出精车余量，其所留的精车余量一般比普通车削时所留余量小，常取 0.1～0.5 ㎜。切削表面有硬皮的铸锻件时，应尽量使 a_p 大于硬皮层的厚度，以保护刀尖。

精加工的加工余量一般较小，可一次切除。

在中等功率的机床上：粗加工的背吃刀量可达 8～10mm；半精加工的背吃刀量取 0.5～5mm；精加工的背吃刀量取 0.2～1.5mm。

2. 进给速度（进给量）的确定

单位时间内刀具与工件沿进给方向的相对位移量称为进给量（mm/r）。进给量 f 的选取

应该与背吃刀量和主轴转速相适应。在保证工件加工质量的前提下，可以选择较高的进给速度（2000mm/min 以下）。在切断、车削深孔或精车时，应选择较低的进给速度。

粗车时，一般取 f=0.3～0.8mm/r；精车时，常取 f=0.1～0.3mm/r；切断时，常取 f=0.05～0.2mm/r。

进给速度是数控车床切削用量中的重要参数，主要根据零件的加工精度和表面粗糙度要求以及刀具、工件的材料性质选取，最大进给速度受机床刚度和进给系统的性能限制。

粗加工时，由于对工件的表面质量没有太高的要求，这时主要根据机床进给机构的强度和刚性、刀杆的强度和刚性、刀具材料、刀杆和工件尺寸以及已选定的背吃刀量等因素来选取进给速度。

精加工时，则按表面粗糙度要求、刀具及工件材料等因素来选取进给速度。

进给速度 v_f 和进给量 f 可按以下公式进行转换：

$$v_f = fn$$

式中 v_f——进给速度（mm/min）；

f——每转进给量（mm/r）；

n——主轴转速（r/min）。

3. 切削速度的确定

切削速度是指切削时车刀切削刃上某一点相对待加工表面在主运动方向上的瞬时速度，又称为线速度（m/min）。

切削速度 v_c 可根据已经选定的背吃刀量、进给量及刀具寿命进行选取。实际加工过程中，也可根据生产实践经验和查表的方法来选取。

粗加工或工件材料的加工性能较差时，宜选用较低的切削速度。精加工或刀具材料、工件材料的加工性能较好时，宜选用较高的切削速度。

在实际生产中，切削用量一般根据经验并通过查表的方式进行选取。常用硬质合金刀具或涂层硬质合金刀具切削不同材料时的切削用量推荐值见表 1-4。常用切削用量推荐值见表 1-5。

表 1-4 硬质合金刀具或涂层硬质合金刀具切削不同材料时的切削用量

刀具材料	工件材料	粗加工			精加工		
		切削速度/（m/min）	进给量/（mm/r）	背吃刀量/mm	切削速度/（m/min）	进给量/（mm/r）	背吃刀量/mm
硬质合金或涂层硬质合金	碳素钢	220	0.2	3	260	0.1	0.4
	低合金钢	180	0.2 0.2	3 3	220 220	0.1 0.1	0.4
	高合金钢	120	0.2	3	160	0.1	0.4
	铸铁	80	0.2 0.2	3 3	140 140	0.1 0.1	0.4
	不锈钢	80	0.2	2	120	0.1	0.4
	钛合金	40	0.3 0.2	1.5 1.5	60 60	0.1 0.1	0.4
	灰铸铁	120	0.3 0.3	2 2	150 150	0.15 0.15	0.5
	球墨铸铁	100	0.2 0.3	2	120 120	0.15 0.15	0.5
	铝合金	1600	0.2	1.5	1600	0.1	0.5

表 1-5　常用切削用量

工件材料	加工内容	背吃刀量/mm	切削速度/（m/min）	进给量/（mm/r）	刀具材料
碳素钢 σ_b>600MPa	粗加工	5～7	60～80	0.2～0.4	YT 类
	粗加工	2～3	80～120	0.2～0.4	
	精加工	2～6	120～150	0.1～0.2	
	钻中心孔		50～800r/min		W18Cr4V
	钻孔		25～30	0.1～0.2	
	切断（宽度<5mm）		70～110	0.1～0.2	YT 类
铸铁 硬度<200HBW	粗加工		50～70	0.2～0.4	YG 类
	精加工		70～100	0.1～0.2	
	切断（宽度<5mm）		50～70	0.1～0.2	

车外圆时，主轴转速应根据零件上被加工部位的直径，并按零件和刀具的材料及加工性质等条件所允许的切削速度来确定。切削速度除了计算和查表选取外，还可根据实践经验确定。需要注意的是交流变频调速数控车床低速输出力矩小，因而切削速度不能太低。

切削速度确定后，可根据下面公式确定主轴转速：

$$n = 1000v_c / \pi D$$

式中　v_c——切削速度（m/min），由刀具寿命决定；

D——工件或刀具直径（mm）。

主轴转速 n 要根据计算值在机床说明书中选取标准值，并填入程序单中。

1.3　数控车床的编程要点

1.3.1　数控车床的编程特点及坐标系

1. 数控车床的编程特点

1）数控车床上工件的毛坯大多为圆棒料，加工余量较大，一个表面往往需要进行多次反复的加工。如果对每个加工循环都编写若干个程序段，就会增加编程的工作量。为了简化加工程序，一般情况下，数控车床的数控系统中都有车外圆、车端面和车螺纹等不同形式的循环功能。

2）数控车床的数控系统中都有刀具补偿功能。在加工过程中，对于刀具位置的变化、刀具几何形状的变化及刀尖圆弧半径的变化，都无需更改加工程序，只要将变化的尺寸或圆弧半径输入存储器，刀具便能自动进行补偿。

3）数控车床的编程有直径、半径两种方法。所谓直径编程是指 X 轴上的有关尺寸为直径值，半径编程是指 X 轴上的有关尺寸为半径值。

2. 数控车床的坐标系

（1）机床坐标系　机床坐标系又称机械坐标系，是机床上固有的坐标系。机床坐标系的方位是参考机床上的一些基准面确定的。机床原点是指机床坐标系的原点，即 X=0，Y=0，Z=0。机床原点是机床的基本点，它是其他所有坐标，如工件坐标系、编程坐标系，以及机床参考点的基准点。从机床设计的角度看，该点位置可以是任意点，但对某一具体机床

来说，机床原点是固定的。数控车床的原点一般设在主轴前端的中心，如图 1-23 所示。

机床参考点是用于对机床工作台、滑板以及刀具相对运动的测量系统进行定标和控制的点，有时也称机床零点。它是在加工之前和加工之后，用控制面板上的回零按钮使移动部件退回到机床坐标系中的一个固定不变的极限点，如图 1-24 所示。机床参考点的位置是由机床制造厂家在每个进给轴上用限位开关精确调整好的，坐标值已输入数控系统中，因此参考点对机床原点的坐标是一个已知数。数控机床在工作时，移动部件必须首先返回参考点，测量系统置零之后即可以参考点作为基准，随时测量运动部件的位置，刀具（或工作台）移动才有基准。

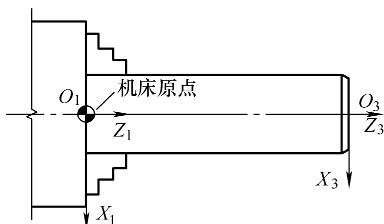


图 1-23　车床的机床原点

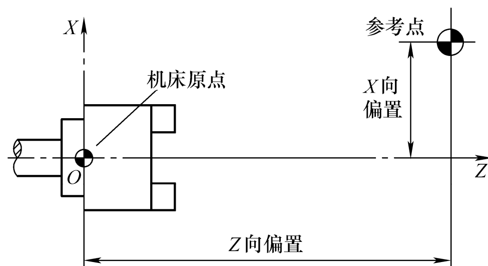


图 1-24　数控车床的参考点与机床原点

（2）加工坐标系　加工坐标系也称工件坐标系，是编程人员在编程和加工时使用的坐标系，是程序的参考坐标系。其位置以机床坐标系为参考点。工件坐标系的原点称为工件原点或编程原点，可设在工件上便于编程的某一固定点上。编程时的刀具轨迹坐标点是按工件轮廓在工件坐标系中的坐标确定。加工时工件随夹具安装在机床上，这时测量工件原点（编程原点）与机床原点的距离，称为工件原点偏置，该偏置值需预存在数控系统的存储器中。加工时，工件原点偏置便能自动地加到工件坐标系上，使数控系统可按机床坐标系确定加工时的绝对坐标值。因此，编程人员可以不考虑工件在机床上的实际安装位置和安装精度，而利用数控系统的原点偏置功能，通过工件原点偏置值，补偿工件在工作台上的安装位置误差。

1.3.2　对刀及设置工件原点的方法

在数控车床编程过程中，为了使编程工作更加方便，通常将数控车刀的刀尖假想成一个点，该点称为刀位点或刀尖点。它不但是表示刀具特征的点，而且也是对刀和加工的基准点。调整每把刀的刀位点，使其尽量重合于某一理想基准点的过程称为对刀。

对刀是数控车床加工中的重要操作。对刀的准确与否决定了工件的加工精度，而且对刀的效率直接影响数控车削加工的效率。对刀的实质是确定编程原点（工件原点）在机床工件坐标系中的位置，其主要目的是建立准确的工件坐标系，同时还考虑加工中不同尺寸刀具对加工的影响。

1．直接用刀具试切对刀

试切法对刀是实际操作中应用最多的一种对刀方法，是数控车床最基本的对刀方法。它使工件坐标系与机械坐标系紧密地联系在一起，只要不断电、不改变刀偏值，工件坐标系就不会改变；即使断电，重启后回参考点，工件坐标系还在原来的位置。这种对刀方法

简单、可靠，但占用机床时间较多。下面以 FANUC 0i 系统的数控车床为例，来介绍具体操作方法。

工件和刀具装夹完毕，主轴正转，在手动操作方式下移动刀架至工件试切一段外圆。然后保持 *X* 坐标不变移动 *Z* 轴使刀具离开工件，测量出该段外圆的直径。将其输入到相应的刀具参数中的刀长中，系统会自动用刀具当前 *X* 坐标减去试切出的那段外圆直径，即得到工件坐标系 *X* 轴原点的位置。再移动刀具试切工件端面，在相应刀具参数中的刀宽中输入 Z_0，系统会自动将此时刀具的 *Z* 坐标减去刚才输入的数值，即得工件坐标系 *Z* 轴原点的位置。

例如，2#刀刀架在机械坐标系中 *X* 的值为 150.0，车出的外圆直径为 25.0，那么使用该把刀具切削时的程序原点在机械坐标系中 *X* 值为 150.0–25.0=125.0；刀架在机械坐标系中 *Z* 为 180.0 时，切削工件的端面为 0，那么使用该把刀具切削时的程序原点在机械坐标系中 *Z* 值为 180.0–0=180.0。将（125.0，180.0）存入 2#刀具补偿寄存器的 *X* 与 *Z* 中，在程序中使用 T0202 就可以成功建立工件坐标系。

事实上，找工件原点在机械坐标系中的位置并不是求该点的实际位置，而是找刀尖点到达（0，0）时刀架的位置。采用这种方法对刀一般不使用标准刀，在加工之前需要将所要使用的刀具全部都对好。

2. 用 G50 设置工件原点

FANUC 0i 系统的数控车床用 G50 指令设定工件坐标系，该指令一般作为第一条指令放在整个程序的最前面。其编程格式为：“G50 X__ Z__ ；”。

将工件、刀具安装好之后，用 MDI 方式操纵机床。先用外圆车刀试切工件外圆，利用相对坐标系画面计算出外圆直径后，控制刀具切削到工件端面中心位置，具体操作步骤如下：

1）用外圆车刀先试车一外圆，然后把车刀沿 *Z* 轴正方向退至端面附近。

2）在位置画面按[相对]软键，进入相对坐标系后按地址键 U，这时屏幕上字母 U 不断闪烁，使软键[起源]置“零”。

3）测量所切外圆直径，假设外圆直径为 40mm。

4）选择 MDI 方式，输入“G00 U-40.0 F0.3；”，按循环启动键（START 键），使刀具切工件端面到中心（*X* 轴坐标减去直径值）。

5）选择 MDI 方式，输入“G50 X0 Z0；”，按循环启动键（START 键），把当前位置设定为零点。

6）选择 MDI 方式，输入“G00 X150.0 Z150.0；”，使刀具离开工件达到起刀点。

这时程序开头应当加入“G50 X150.0 Z150.0；”程序段，且程序起点和终点必须一致，即该刀具加工结束时，应用程序段“G00 X150.0 Z150.0；”使刀具返回起刀点，这样才能保证重复加工不乱刀。

用 G50 设定坐标系，对刀后将刀具移动到 G50 设定的位置才能加工。对刀时，先对基准刀，其他刀具的刀偏都是相对于基准刀的。

3. 用 G54～G59 设置工件原点

FANUC 0i 系统的数控车床运用 G54～G59 可以设定六个坐标系，这种坐标系是相对于参考点不变的，与刀具无关。这种方法适于批量生产且工件在卡盘上有固定装夹位置的加工。

将工件、刀具安装好之后，用 MDI 方式操纵机床。先用外圆车刀试切工件外圆，测量

出工件外圆直径后，将刀具移动到工件端面中心位置，利用工件坐标系设定画面，将设定值存入 G54～G59 任意选定的坐标系中。具体操作步骤如下：

1）用外圆车刀先试车一外圆，然后把车刀沿 *Z* 轴正方向退至端面附近。

2）测量所切外圆直径，假设外圆直径为 40mm。

3）依次按功能键[OFFSET]、[坐标系]软键，进入工件坐标系参数设定画面，移动光标到 G54 坐标系中 *X* 的位置上。

4）输入“40.0”，按[测量]软键，将 *X* 值录入到选定的 G54 坐标系中 *X* 的位置上。

5）切削工件端面。

6）依次按功能键[OFFSET]、[坐标系]软键，进入工件坐标系参数设定画面，移动光标到 G54 坐标系中 *Z* 的位置上。

7）输入“0.”，按[测量]软键，将 *Z* 值录入到选定的 G54 坐标系中 *Z* 的位置上。

编程时，可在程序中直接调用 G54～G59，如“G54 X50.0 Z50.0……；”。可用 G53 指令清除 G54～G59 工件坐标系。

4. 直接设置工件原点偏置

在数控车床 FANUC 0i 系统的功能菜单里，有一个工件偏移坐标系界面，可输入适当的值将工件原点进行偏移。这种方法适于批量生产且工件在卡盘上有固定装夹位置，但个别工件毛坯超出预定加工范围而需进行调整的加工。具体操作步骤如下：

1）用外圆车刀先试车一外圆，然后把车刀沿 *Z* 轴正方向退至端面附近。

2）在位置画面按[相对]软键，进入相对坐标系后按地址键 U，这时屏幕上字母 U 不断闪烁，使[起源]软键置“零”。

3）测量所切外圆直径，假设外圆直径为 40mm。

4）选择 MDI 方式，输入“G00 U-40.0 F0.3；”，按循环启动键（START 键），使刀具切工件端面到中心（*X* 轴坐标减去直径值）。

5）依次按功能键[OFFSET]、[坐标系]软键，进入工件坐标系参数设定画面，移动光标到 G54 坐标系中 *X*、*Z* 的位置上。

6）输入“0.”，按[测量]软键，将 *X*、*Z* 值依次录入到选定的 G54 坐标系中 *X*、*Z* 的位置上。

7）选择回参考点方式，按 *X*、*Z* 轴回参考点键，使刀具返回机床参考点，这时具有新工件原点的坐标系即建立。

1.3.3 刀具补偿及参数的设定

刀具补偿是补偿实际加工时所用的刀具与编程时使用的理想刀具或对刀时用的基准刀具之间的差值。数控车床一般均有刀具补偿功能，这是因为车床通常进行连续切削加工，刀架在换刀时的前一刀具刀尖位置和更换的新刀具刀尖位置之间会产生差异，以及由于刀具的安装误差、刀具磨损和刀尖圆弧半径的存在等，因此在数控车削加工中必须利用刀具补偿功能，才能加工出符合图样尺寸要求的零件。

数控车床的刀具补偿可分为两类，即刀具位置补偿和刀具半径补偿，其中刀具位置补偿又分为刀具几何补偿和刀具磨损补偿。

在数控车削加工中，常常利用修改刀具几何补偿和刀具磨损补偿的方法，来达到控制

加工余量，提高加工精度的目的。因此，合理地利用刀具补偿还可以简化编程。

1. 刀具位置补偿及实现

（1）刀具几何补偿　刀具几何补偿是补偿实际加工时所用的刀具形状和安装位置与编程时理想刀具或基准刀具之间的偏差值。

在实际加工工件时，使用一把刀具一般不能满足工件的加工要求，通常要使用多把刀具进行加工。作为基准刀的 1 号刀刀尖点的进给轨迹如图 1-25a 所示（图中各刀具无刀位偏差）。其他刀具的刀尖点相对于基准刀刀尖存在一定的偏移量，即刀位偏差，如图 1-25b 所示（图中各刀具有刀位偏差）。若使用 T 指令，则使非基准刀刀尖点从偏离位置移动到基准刀的刀尖点位置（*A* 点）然后再按编程轨迹进给，如图 1-25b 中实线所示。

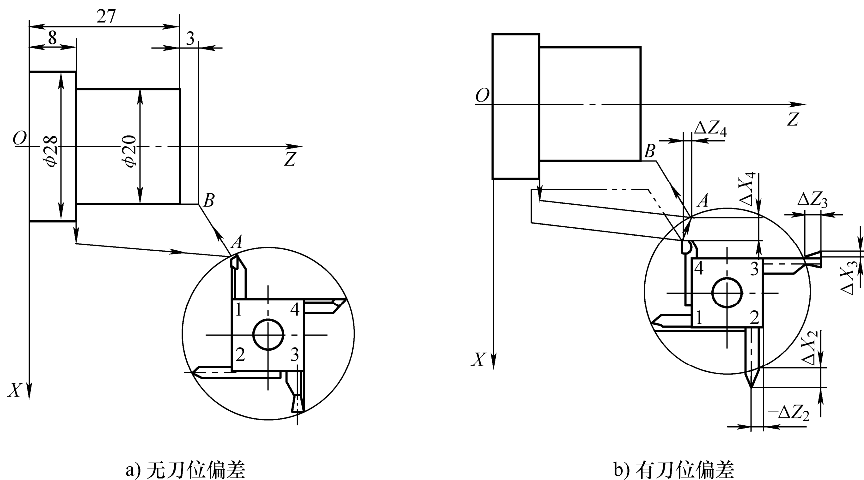


图 1-25　刀具几何补偿

（2）刀具磨损补偿　刀具在加工过程中出现的磨损也要进行位置补偿。刀具磨损补偿则是用于补偿当刀具使用磨损后刀具头部与原始尺寸的误差。

当刀具磨损后或工件尺寸有误差时，只要修改刀具补偿寄存器中每把刀具相应的数值即可，该寄存器中存放有刀具的 *X* 轴偏置量和 *Z* 轴偏置量等。

例如某工件加工后外圆直径比要求的尺寸大（或小）了 0.1mm，则可以用 U-0.1（U0.1）修改相应存储器中的数值。当长度方向尺寸有偏差时，修改方法类同。

（3）刀具位置补偿的实现　刀具的位置补偿功能是由程序中指定的 T 代码实现的。T 代码由字母 T 和其后的 4 位数字组成，其中前两位数字为刀具号，后两位数字为刀具补偿号。T 代码格式为 T ××××，如程序段“G01 X50 Z100 T0103；”表示调用 1 号刀具，选用刀具补偿寄存器中预存的 3 号偏置量。刀具补偿号实际上是刀具补偿寄存器的地址号，可以是 0～32 中任意一个数。刀具补偿号为 00 时，表示不进行补偿或取消刀具补偿。为防止编程时调用差错，刀具补偿号一般与刀具号设置为同一数值。

刀具位置补偿功能必须在一个程序段的执行过程中完成，且程序段内必须有 G00 或 G01 指令才能生效。T 代码指令可单独一行书写，也可跟在移动程序指令的后部。当一个程序段中同时含有刀具补偿指令和刀具移动指令时，先执行 T 代码指令，后执行刀具移动指令。

若设定刀具几何补偿和磨损补偿同时有效时，刀补量是两者的矢量和。

数控系统对刀具的补偿或取消刀具补偿都是通过数控车床的拖板移动来实现的。对带自动换刀的车床而言，执行 T 指令时，将先让刀架转位，按 T 代码前 2 位数字指定的刀具号选择好刀具后，再按 T 代码后 2 位数字对应的刀具补偿寄存器中刀具位置补偿值的大小来调整刀架拖板位置，实施刀具几何位置补偿和磨损补偿。

2. *刀具半径补偿及实现*

在实际车削加工中，为了提高刀具寿命并降低加工表面的表面粗糙度值，刀具的刀尖处制成圆弧过渡刃，且有一定的半径值。但在编程中，一般是按假想刀尖 *A* 来进行编程，而在实际车削中真正起作用的切削刃是圆弧与工件轮廓表面的切点，如图 1-26 所示。

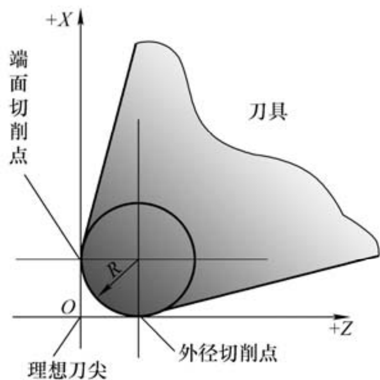


图 1-26　刀尖圆弧半径图

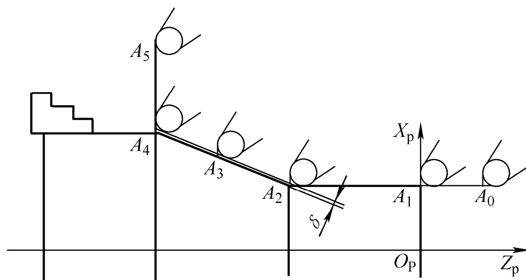


图 1-27　车削锥面时的加工误差图

当用按理论刀尖点编出的程序进行端面、外径、内径等与轴线平行或垂直的表面加工时，是不会产生误差的。但在进行倒角、锥面及圆弧切削时，由于刀尖圆弧 *R* 的存在，实际车出的工件形状就会和零件图样上的尺寸不重合，如图 1-27 所示，这样就会产生圆锥表面误差。如果工件要求不高，此量可以忽略不计，但是如果工件要求很高，就应考虑刀尖圆弧半径对工件表面形状的影响。

（1）补偿方向的判别　从垂直于加工平面坐标轴的正向朝负向看，沿着刀具运动的方向（假定工件不动），刀具位于工件左侧的补偿称为左刀补，用 G41 指令表示；刀具位于工件右侧的补偿称为右刀补，用 G42 指令表示，如图 1-28 和图 1-29 所示。

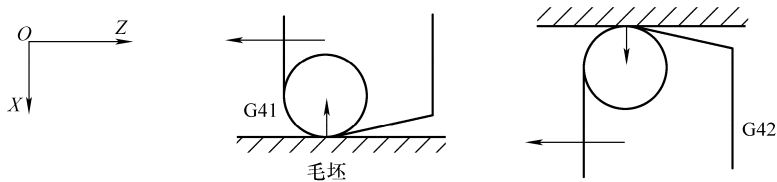


图 1-28　前置刀架刀尖圆弧半径补偿图

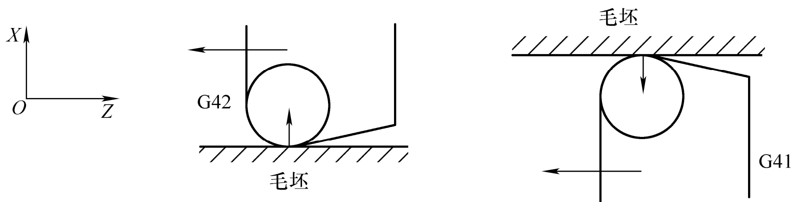


图 1-29　后置刀架刀尖圆弧半径补偿图

（2）刀具半径补偿的执行过程　刀具半径补偿的过程分为三步：刀具半径补偿的建立，即使刀具中心从与编程轨迹重合过渡到与编程轨迹偏离一个刀尖圆弧半径的过程（偏移量必须在一个程序段的执行过程中完成，并且不能省略）；刀具半径补偿的执行，即执行有G41或G42的程序段后，刀具中心始终与编程轨迹相距一个偏移量（G41、G42不能重复使用）；刀具半径补偿的取消，即刀具离开工件，刀具中心轨迹过渡到与编程轨迹重合的过程。刀具补偿的建立和取消如图1-30和图1-31所示。

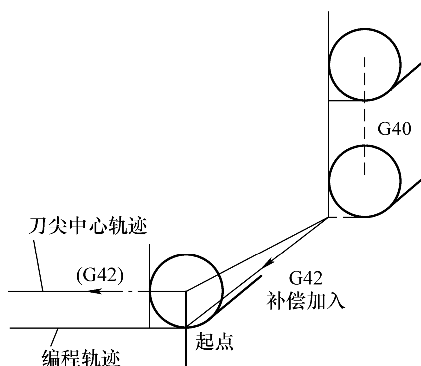


图1-30　刀具补偿的建立图

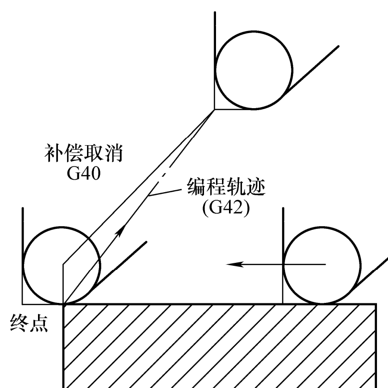


图1-31　刀具补偿的取消图

（3）刀尖方位号　对应每把刀具的补偿包括偏置量 *X*、*Z*，刀具半径补偿值R和刀尖方位号T。如果刀具的刀尖形状和切削时所处的位置不同，刀具的补偿量和补偿方向也不同，因此假想刀尖的方位必须同偏置量一起提前设定。刀尖方位号共有九种，分别用0～8表示，当刀位点取刀尖圆弧半径中心时，刀位号取0，也可以说是无半径补偿，如图1-32和图1-33所示。

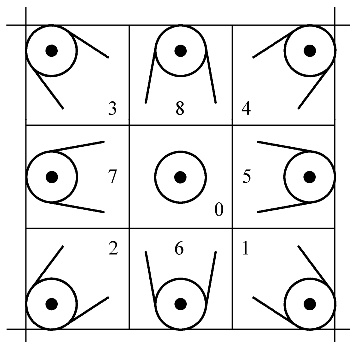


图1-32　前置刀架刀位号图

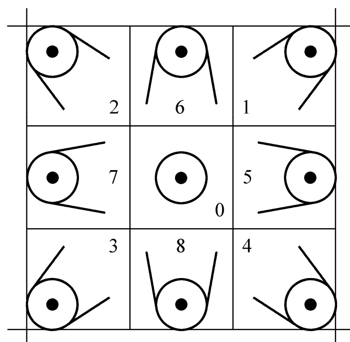


图1-33　后置刀架刀位号图

第 2 章

FANUC 数控车床编程实例

2.1 阶梯轴类零件编程加工（4 例）

2.1.1 实例 1——阶梯轴类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 2-1 零件外形为阶梯轴，两端都需要加工，因此需要调头装夹。工件用自定心卡盘装夹，调头后用划针盘找正。根据工件坐标系建立原则，两次装夹加工时都将工件坐标系原点设定在其装夹后的工件右端面轴线上。

加工过程中，因加工余量较大，需要粗加工和精加工多次进给才能完成。

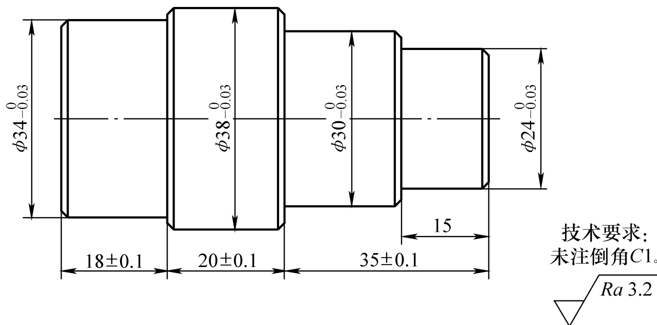


图 2-1 实例 1 零件图

2. 刀具与切削用量选择

该零件需要加工外圆面和端面，因此采用外圆车刀和端面车刀完成该零件的加工。

零件加工材料为 45 钢，硬度较高，切削力较大，切削速度应选择低些。根据加工要求，切削用量的选择见表 2-1。

表 2-1 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	车端面	T02	500	0.2	1～2
2	粗车 φ34mm 和φ38mm 外圆，留 0.5mm 精车余量	T01	500	0.2	1～2
3	精车φ34mm 和φ38mm 外圆	T01	800	0.1	0.25
4	调头，手动车削端面保证总长	T02	500	0.2	1～2
5	粗车φ30mm 和φ24mm 外圆，留 0.5mm 精车余量	T01	500	0.2	1～2
6	精车φ30mm 和φ24mm 外圆	T01	800	0.1	0.25

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 2-2、表 2-3。

表 2-2　数控加工参考程序（左端）

程　　序	说　　明
O0101；	主程序名（左端）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	粗加工ϕ34mm 和ϕ38mm 外圆
N030 G00 G99 X40.0 Z1.0；	
N040 G00 X38.5；	
N050 G01 Z-40.0 F0.2；	
N060 X40.0；	
N070 G00 Z1.0；	
N080 X36.0；	
N090 G01 Z-18.0；	
N100 X40.0；	
N110 G00 Z1.0；	
N120 X34.5；	
N130 G01 Z-18.0；	
N140 X40.0；	
N150 G00 Z1.0；	
N160 X30.0 S800；	精加工ϕ34mm 和ϕ38mm 外圆
N170 G01 X34.0 Z-1.0 F0.1；	
N180 Z-18.0；	
N190 X38.0 C-1.0；	
N200 Z-40.0；	
N210 G00 X100.0；	
N220 Z100.0；	
N230 M30；	程序结束

表 2-3　数控加工参考程序（右端）

程　　序	说　　明
O0102；	主程序名（右端）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	粗加工ϕ24mm 和ϕ30mm 外圆
N030 G00 G99 X40.0 Z1.0；	
N040 G00 X36.0；	
N050 G01 Z-35.0 F0.2；	
N060 X40.0；	
N070 G00 Z1.0；	
N080 X32.0；	
N090 G01 Z-35.0；	

（续）

程　　序	说　　明
N100 X40.0；	
N110 G00 Z1.0；	
N120 X30.5；	
N130 G01 Z-35.0；	
N140 X40.0；	
N150 G00 Z1.0；	
N160 X26.5；	
N170 G01 Z-15.0；	
N180 X35.0；	
N190 G00 Z1.0；	
N200 X24.5；	
N210 G01 Z-15.0；	
N220 X35.0；	
N230 G00 Z1.0；	
N240 X20.0 S800；	精加工ϕ24mm 和ϕ30mm 外圆
N250 G01 X24.0 Z-1.0 F0.1；	
N260 Z-15.0；	
N270 X30.0 C-1.0；	
N280 Z-35.0；	
N290 X36.0；	
N300 X40.0 Z-37.0；	
N310 G00 X100.0；	
N320 Z100.0；	
N330 M30；	程序结束

2.1.2 实例 2——阶梯轴类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

图 2-2 阶梯轴一端为圆柱阶台，另一端为带锥度的阶梯轴。工件用自定心卡盘装夹，先加工一端，调头后用划针盘找正，再加工另一端。根据工件坐标系建立原则，两次装夹加工时都将工件坐标系原点设定在其装夹后的工件右端面轴线上。

$\phi30^{0}_{-0.03}$ $\phi38^{0}_{-0.03}$ $\phi30^{0}_{-0.03}$ $\phi20$ $\phi16^{0}_{-0.03}$
16 15
20 20±0.1 40±0.1
技术要求:
未注倒角C1。
Ra 3.2

图 2-2　实例 2 零件图

零件右端圆锥面阶梯轴，因加工余量较大，粗加工需要多次进给才能完成。粗加工圆锥面时，可采用变锥度法编程加工，即在粗加工过程中，编程的坐标值不变，而改变锥度值来完成圆锥面的粗加工的方法。

2. 刀具与切削用量选择

该零件需要加工外圆面和端面，因此采用外圆车刀和端面车刀完成该零件的加工。

零件加工材料为 45 钢，硬度较高，切削力较大，切削速度应选择低些。根据加工要求，切削用量的选择见表 2-4。

表 2-4　切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/r）	背吃刀量/mm
1	车端面	T02	500	0.2	1～2
2	粗车ϕ30mm、ϕ38mm 外圆，留 0.5mm 精车余量	T01	500	0.2	1～2
3	精车ϕ30mm、ϕ38mm 外圆	T01	800	0.1	0.25
4	调头，手动车削端面保证总长	T02	500	0.2	1～2
5	粗车ϕ30mm、ϕ16mm 外圆及圆锥面，留 0.5mm 精车余量	T01	500	0.2	1～2
6	精车ϕ30mm、ϕ16mm 外圆及圆锥面	T01	800	0.1	0.25

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 2-5、表 2-6。

表 2-5　数控加工参考程序（左端）

程　　序	说　　明
O0201；	主程序名（左端）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	粗加工ϕ30mm 和ϕ38mm 外圆
N030 G00 G99 X42.0 Z1.0；	
N040 G90 X38.5 Z-42.0 F0.2；	
N050 X34.5 Z-20.0；	
N060 X30.5；	
N070 G00 X26.0 S800；	精加工ϕ30mm 和ϕ38mm 外圆
N080 G01 X30.0 Z-1.0 F0.1；	
N090 Z-20.0；	
N100 X38.0 C-1.0；	
N110 Z-42.0；	
N120 G00 X100.0；	
N130 Z100.0；	
N140 M30；	程序结束

表 2-6 数控加工参考程序（右端）

程 序	说 明
O0202；	主程序名（右端）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	粗加工ϕ16mm 和ϕ30mm 外圆
N030 G00 G99 X42.0 Z1.0；	
N040 G90 X36.0 Z-40.0 F0.2；	
N050 X32.0；	
N060 X30.5；	
N070 X26.5 Z-15.0；	
N080 X22.5；	
N090 X18.5；	
N100 X16.5；	
N110 G00 X34.0 Z-14.5；	粗加工圆锥面定位
N120 G90 X30.5 Z-31.0 R-2.0；	粗加工圆锥面第一次进给
N130 X30.5 Z-31.0 R-4.0；	粗加工圆锥面第二次进给
N140 X30.5 Z-31.0 R-5.0；	粗加工圆锥面第三次进给
N150 G00 Z1.0 S800；	精加工右端轮廓
N160 X12.0；	
N170 G01 X16.0 Z-1.0 F0.1；	
N180 Z-15.0；	
N190 X20.0；	
N200 X30.0 Z-31.0；	
N210 Z-40.0；	
N220 X36.0；	
N230 X40.0 Z-42.0；	
N240 G00 X100.0；	
N250 Z100.0；	
N260 M30；	程序结束

2.1.3 实例 3——阶梯轴类零件编程加工（三）

1. 零件工艺分析

如图 2-3 所示阶梯轴，该零件形状简单，结构尺寸变化不大，有两个台阶面、两处直槽，外圆ϕ25mm、ϕ20mm 加工精度为 0.04mm。轴向尺寸中外圆段无长度公差要求，表面粗糙度值 *Ra* 1.6～3.2μm，无几何公差要求。

该零件为简单阶梯轴，选用自定心卡盘夹紧。根据工件坐标系建立原则，将工件坐标系原点设定在其装夹后的工件右端面轴线上。

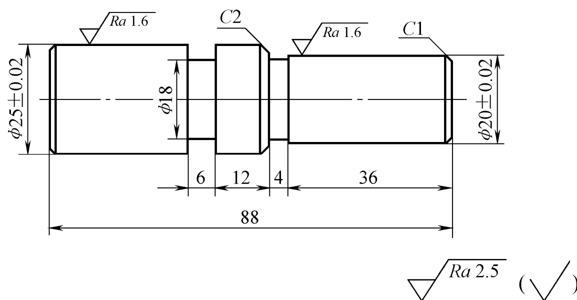


图 2-3 实例 3 零件图

2. 刀具与切削用量选择

该零件需加工内容有外圆面和沟槽特征，选择外圆车刀和切槽刀。

零件毛坯为ϕ30mm 的棒料，材料为 45 钢，硬度较高，切削力较大，切削速度应选择低些。根据加工要求，切削用量的选择见表 2-7。

表 2-7 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/r）	背吃刀量/mm
1	车端面（手动）	T01	600	0.2	1～2
2	粗车外轮廓，留 0.5mm 精加工余量	T01	600	0.2	1～2
3	精车外轮廓	T01	900	0.1	0.25
4	加工直槽	T02	400	0.1	4
5	切断	T02	400	0.1	4

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 2-8。

表 2-8 数控加工参考程序

程序	说明
O0301；	主程序名
N010 M03 S600；	
N020 T0101；	调用 1 号外圆车刀，执行 1 号刀补
N030 G00 X32.0 Z5.0；	
N040 G90 X26.0 Z-93.0 F0.2；	粗车固定循环
N050 X23.0 Z-40.0；	
N060 X20.5 Z-40.0；	
N070 S900；	精车
N080 G00 X18.0 Z5.0；	
N090 G01 Z0 F0.1；	
N100 X20.0 Z-1.0；	
N110 Z-40.0；	
N120 X21.0；	
N130 X25.0 Z-42.0；	
N140 Z-93.0；	
N150 G00 X50.0；	
N160 Z100.0；	
N170 S400；	
N180 T0202；	调用 2 号切槽刀，执行 2 号刀补
N190 G00 X30.0 Z-40.0；	
N200 G01 X18.0 F0.1；	切槽
N210 G04 X2.0；	
N220 G00 X30.0；	

（续）

程　　序	说　　明
N230 Z-58.0；	
N240 G01 X18.0；	切槽（宽 6mm）
N250 G04 X2.0；	
N260 G00 X30.0；	
N270 Z-56.0；	
N280 G01 X18.0；	
N290 G04 X2.0；	
N300 G00 X30.0；	
N310 Z-92.0；	
N320 G01 X20.0；	
N330 X25.0；	
N340 Z-91.0；	倒角
N350 X23.0 Z-92.0；	
N360 G01 X0.0；	切断
N370 G00 X50.0；	
N380 Z100.0；	
N390 M30；	程序结束

2.1.4　实例 4——阶梯轴类零件编程加工（四）

1. 零件工艺分析

图 2-4 零件左端为圆锥面阶梯轴，右端为凹圆弧面轴，采用两次装夹调头加工。工件用自定心卡盘装夹，先加工右端，调头后用划针盘找正，再加工左端。根据工件坐标系建立原则，两次装夹加工时都将工件坐标系原点设定在其装夹后的工件右端面轴线上。

该零件左端圆锥面阶梯轴轮廓单调增加，采用 G71 复合循环指令进行粗加工，采用 G70 指令精加工；右端轮廓尺寸不是单调的，采用 G73 进行粗加工，采用 G70 指令精加工。

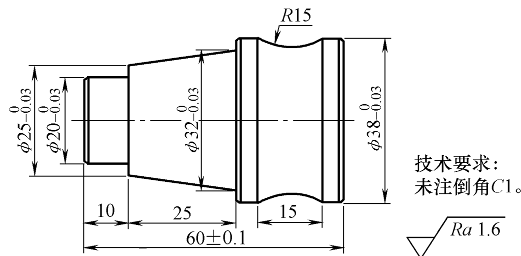


图 2-4　实例 4 零件图

2. 刀具与切削用量选择

该零件需要加工外圆面、凹圆弧面和端面，因此采用 V 形刀片的外圆车刀和端面车刀完成该零件的加工。

零件加工材料为 45 钢，硬度较高，切削力较大，切削速度应选择低些。根据加工要求，切削用量的选择见表 2-9。

表 2-9 切削用量的选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/r）	背吃刀量/mm
1	车端面	T02	500	0.2	1～2
2	粗车ϕ38mm 外圆及 R15mm 凹圆弧面，留 0.5mm 精车余量	T01	500	0.2	1～2
3	精车ϕ38mm 外圆及 R15mm 凹圆弧面	T01	800	0.1	0.25
4	调头，手动车削端面保证总长	T02	500	0.2	1～2
5	粗车ϕ20mm 外圆面及外圆锥面，留 0.5mm 精车余量	T01	500	0.2	1～2
6	精车ϕ20mm 外圆面及外圆锥面	T01	800	0.1	0.25

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 2-10 和表 2-11。

表 2-10 数控加工参考程序（右端）

程　序	说　明
O0401；	主程序名（右端）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X42.0 Z3.0；	
N040 G73 U3.0 W0.0 R3；	粗车ϕ38mm 外圆及 R15mm 凹圆弧面
N050 G73 P60 Q120 U0.5 W0 F0.2；	
N060 G42 G00 X34.0 S800；	
N070 G01 Z1.0 F0.1；	
N080 X38.0 Z-1.0；	
N090 Z-5.0；	
N100 G02 X38.0 Z-20.0 R15.0；	
N110 G01 Z-27.0；	
N120 G40 X42.0；	
N130 G70 P60 Q120；	精车ϕ38mm 外圆及 R15mm 凹圆弧面
N140 G00 X100.0；	
N150 Z100.0；	刀具退至换刀点
N160 M30；	程序结束

表 2-11 数控加工参考程序（左端）

程　序	说　明
O0402；	主程序名（右端）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X40.0 Z3.0；	
N040 G71 U1.5 R0.5；	粗车ϕ20mm 外圆面及外圆锥面
N050 G71 P60 Q140 U0.5 W0 F0.2；	
N060 G42 G00 X16.0 S800；	
N070 G01 Z1.0 F0.1；	
N080 X20.0 Z-1.0；	

（续）

程　序	说　明
N090 Z-10.0；	
N100 X25.0；	
N110 X32.0 Z-35.0；	
N120 X36.0；	
N130 X39.0 Z-36.5；	精车ϕ20mm 外圆面及外圆锥面
N140 G40 X42.0；	
N150 G70 P60 Q140；	
N160 G00 X100.0；	
N170 Z100.0；	刀具退至换刀点
N180 M30；	程序结束

2.2 成形面类零件编程加工（2 例）

2.2.1 实例 5——成形面类零件编程加工（一）

1．零件工艺分析

图 2-5 零件一端为圆柱阶台，另一端为带锥度的阶梯轴。工件用自定心卡盘装夹，先加工左端，调头后用划针盘找正，再加工右端。根据工件坐标系建立原则，两次装夹加工时都将工件坐标系原点设定在其装夹后的工件右端面轴线上。

粗加工圆锥面时，采用变锥度法来编程。右端圆弧面采用同心圆弧法加工，同心圆弧法指的是采用一系列圆心相同而半径不同的圆弧编写粗车程序的方法。如图 2-6 所示，粗加工各同心圆的端点坐标及半径见表 2-12。

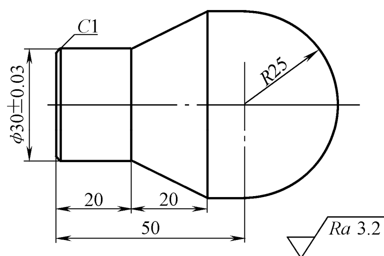


图 2-5　实例 5 零件图

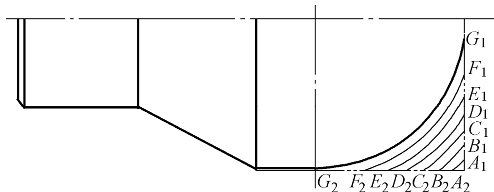


图 2-6　圆弧面粗加工路线图

表 2-12　粗加工各同心圆的端点坐标及圆弧半径　　（单位：mm）

圆弧	端点坐标（Z，X）	圆弧半径
A_1A_2	A_1（0，46.087）、A_2（−2.231，50.5）	34
B_1B_2	B_1（0，41.533）、B_2（−4.538，50.5）	32.5
C_1C_2	C_1（0，36.661）、C_2（−7.016，50.5）	31
D_1D_2	D_1（0，31.321）、D_2（−9.746，50.5）	29.5
E_1E_2	E_1（0，25.219）、E_2（−12.899，50.5）	28
F_1F_2	F_1（0，17.578）、F_2（−16.957，50.5）	26.5
G_1G_2	G_1（0，7.089）、G_2（−25.0，50.5）	25.25

2．刀具与切削用量选择

该零件需要加工外圆面、圆弧面和端面，因此采用外圆车刀和端面车刀完成该零件的加工。

零件加工材料为 45 钢，硬度较高，切削力较大，切削速度应选择低些。根据加工要求，切削用量的选择见表 2-13。

表 2-13　切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	车端面	T02	500	0.2	1～2
2	粗车ϕ30mm 外圆及圆锥面，留 0.5mm 精车余量	T01	500	0.2	1～2
3	精车ϕ30mm 及圆锥面	T01	800	0.1	0.25
4	调头，手动车削端面保证总长	T02	500	0.2	1～2
5	粗车 R25mm 圆弧面和ϕ50mm 外圆，留 0.5mm 精车余量	T01	500	0.2	1～2
6	精车 R25mm 圆弧面和ϕ50mm 外圆	T01	800	0.1	0.25

3．参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 2-14、表 2-15。

表 2-14　数控加工参考程序（左端）

程　序	说　明
O0501；	主程序名（左端）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	粗加工ϕ30mm 外圆和圆锥面
N030 G00 G99 X56.0 Z1.0；	
N040 G90 X52.0 Z-43.0 F0.2；	
N050 X48.0 Z-20.0；	
N060 X45.0；	
N070 X42.0；	
N080 X39.0；	
N090 X36.0；	
N100 X33.0；	
N110 X30.5；	
N120 G01 Z-19.0；	粗加工圆锥面定位
N130 G90 X51.5 Z-41.0 R-2.0；	粗加工圆锥面第一次进给
N140 X51.5 Z-41.0 R-4.0；	粗加工圆锥面第二次进给
N150 X51.5 Z-41.0 R-6.0；	粗加工圆锥面第三次进给
N160 X51.5 Z-41.0 R-8.0；	粗加工圆锥面第四次进给
N170 X51.5 Z-41.0 R-10.0；	粗加工圆锥面第五次进给
N180 G00 Z1.0；	
N190 X26.0 S800；	精加工ϕ30mm 外圆和圆锥面
N200 G01 X30.0 Z-1.0 F0.1；	
N210 Z-20.0；	
N220 X51.0 Z-41.0；	
N230 G00 X100.0；	
N240 Z100.0；	
N250 M30；	程序结束

表 2-15 数控加工参考程序（右端）

程　　序	说　　明
O0502；	主程序名（右端）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	粗加工外圆及圆弧
N030 G00 G99 X56.0 Z1.0；	
N040 G90 X52.0 Z-40.0 F0.2；	粗车外圆
N050 X50.5；	
N060 G00 X46.087；	
N070 G01 Z0 F0.2；	定位到 A_1 点
N080 G03 X50.5 Z-2.231 R34.0；	粗车圆弧到 A_2 点
N090 G01 X52.0；	
N100 G00 Z1.0；	
N110 X41.533；	
N120 G01 Z0；	定位到 B_1 点
N130 G03 X50.5 Z-4.538 R32.5；	粗车圆弧到 B_2 点
N140 G01 X52.0；	
N150 G00 Z1.0；	
N160 X36.661；	
N170 G01 Z0；	定位到 C_1 点
N180 G03 X50.5 Z-7.016 R31.0；	粗车圆弧到 C_2 点
N190 G01 X52.0；	
N200 G00 Z1.0；	
N210 X31.321；	
N220 G01 Z0；	定位到 D_1 点
N230 G03 X50.5 Z-9.746 R29.5；	粗车圆弧到 D_2 点
N240 G01 X52.0；	
N250 G00 Z1.0；	
N260 X25.219；	
N270 G01 Z0；	定位到 E_1 点
N280 G03 X50.5 Z-12.899 R28.0；	粗车圆弧到 E_2 点
N290 G01 X52.0；	
N300 G00 Z1.0；	
N310 X17.578；	
N320 G01 Z0；	定位到 F_1 点
N330 G03 X50.5 Z-16.957 R26.5；	粗车圆弧到 F_2 点
N340 G01 X52.0；	
N350 G00 Z1.0；	
N360 X7.089；	
N370 G01 Z0；	定位到 G_1 点
N380 G03 X50.5 Z-25.0 R25.25；	粗车圆弧到 G_2 点
N390 G01 X52.0；	
N400 G00 Z3.0 S800；	精加工右端圆弧面
N410 G42 X-2.0 ；	
N420 G01 Z1.0 F0.1；	
N430 G02 X0 Z0 R1.0；	
N440 G03 X50.0 Z-25.0 R25.0；	精车圆弧面
N450 G01 Z-40.0；	
N460 G40 X55.0；	
N470 G00 X100.0；	
N480 Z100.0；	
N490 M30；	程序结束

2.2.2 实例 6——成形面类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

图 2-7 零件由外圆面、凸圆弧面、凹圆弧面组成，可以一次装夹加工出所有轮廓形状，然后切断。工件用自定心卡盘装夹，用划针盘找正。根据工件坐标系建立原则，将工件坐标系原点设定在其装夹后的工件右端面轴线上。

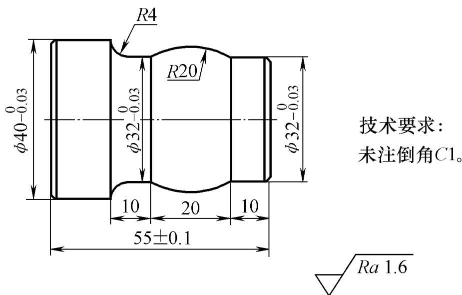


图 2-7 实例 6 零件图

该零件外形轮廓不为单向递增，不能采用 G71 复合循环指令，而采用 G73 复合循环指令进行编程加工。外形轮廓虽然有凸圆弧面和凹圆弧面，但基点坐标都可以从图中获知，变成相对比较容易。在加工中需要注意的是，加工凸圆弧面所使用的刀具后角要适当，避免破坏圆弧面。

2. 刀具与切削用量选择

该零件需要加工外圆面、圆弧面、端面及切断。根据加工要求，选用外圆车刀和切断刀完成该零件的加工。

零件加工材料为硬铝，硬度较低，切削力较小，切削用量可以选择大些。切削用量的选择见表 2-16。

表 2-16 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	车端面	T01	500	0.2	1～2
2	粗车外形轮廓，留 0.5mm 精车余量	T01	600	0.2	1～2
3	精车外形轮廓	T01	1000	0.1	0.2
4	倒角，切断（手动）	T02	400	0.1	4

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 2-17。

表 2-17 数控加工参考程序

程　　序	说　　明
O0601；	主程序名
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S600；	
N030 G00 G99 X43.0 Z3.0；	
N040 G73 U5.0 W0 R5.0；	粗车外圆轮廓
N050 G73 P60 Q140 U0.5 W0 F0.2；	
N060 G42 G00 X28.0 S1000；	
N070 G01 Z1.0 F0.1；	
N080 X32.0 Z-1.0；	
N090 Z-10.0；	

（续）

程　　序	说　　明
N100 G03 X32.0 Z-30.0 R20.0；	
N110 G01 Z-36.0；	
N120 G02 X38.0 Z-40.0；	
N130 G01 X41.0；	
N140 G40 X43.0；	
N150 G70 P60 Q140；	精车外圆轮廓
N160 G00 X100.0；	
N170 Z100.0；	刀具退至换刀点
N180 M30；	程序结束

2.3 槽类零件编程加工（2 例）

2.3.1 实例 7——槽类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 2-8 槽类零件的 6 个直槽的形状、尺寸完全相同，可以采用子程序编写槽的加工程序，然后通过主程序调用子程序来简化程序编写。工件用自定心卡盘装夹，根据工件坐标系建立原则，将工件坐标系原点设定在其装夹后的工件右端面轴线上。

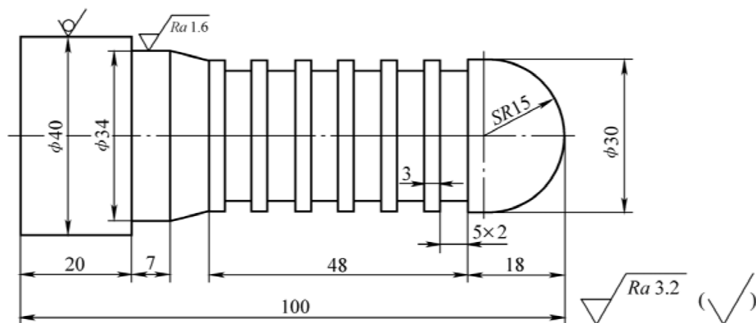


图 2-8　实例 7 零件图

2. 刀具与切削用量选择

该零件需要加工外圆面、直槽，采用外圆车刀和宽 3mm 切槽刀完成该零件的加工。

零件加工材料为 45 钢，硬度较高，切削力较大，切削速度应选择低些。根据加工要求，切削用量的选择见表 2-18。

表 2-18　切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	车端面（手动）	T01	500	0.2	1～2
2	粗车外轮廓，留 0.5mm 精加工余量	T01	500	0.2	1～2
3	精车外轮廓	T01	800	0.1	0.25
4	加工直槽	T02	400	0.08	3

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 2-19。

表 2-19 数控加工参考程序

程　序	说　明
O0701；	主程序名
N010 G99 G21 G40；	
N020 T0101；	调用外圆车刀
N030 M03 S500；	
N040 G00 X100.0 Z100.0 M08；	
N050 X41.0 Z2.0；	
N060 G71 U1.5 R0.3；	采用外径粗车循环加工外轮廓
N070 G71 P80 Q140 U0.3 W0.0 F0.2；	
N080 G42 G00 X0.0 S800；	精加工轮廓描述
N090 G01 Z0.0 F0.1；	
N100 G03 X30.0 Z-15.0 R15.0；	
N110 G01 Z-66.0；	
N120 X34.0 Z-73.0；	
N130 Z-80.0；	
N140 G40 G01 X41.0；	
N150 G70 P80 Q140；	精加工外轮廓
N160 G00 X100.0 Z100.0；	
N170 T0202；	换切槽刀
N180 M03 S600；	
N190 G00 X31.0 Z-63.0；	
N200 M98 P60018；	调用子程序切槽
N210 G00 X100.0 Z100.0；	
N220 M05 M09；	
N230 M30；	程序结束
O0018；	子程序名
N010 G75 R0.3；	径向切槽循环，每次退刀量为 0.3mm
N020 G75 U-5.0 W2.0 P1500 Q2000 F0.1；	*Z* 向移动 2mm，*X* 向每次背吃刀量为 1.5mm
N030 G00 W8.0 F0.1；	切槽循环起点位置 *Z* 向偏移 8mm
N040 M99；	子程序结束

2.3.2 实例 8——槽类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

图 2-9 梯形槽零件的 3 个梯形槽的形状、尺寸完全相同，G75 径向切槽指令不能加工梯形槽，可以采用子程序编写梯形槽的加工程序，然后通过主程序调用子程序来简化梯形槽的程序编写。工件用自定心卡盘装夹，先加工右端，调头后用划针盘找正，再加工左端及梯形槽。根据工件坐标系建立原则，两次装夹加工时都将工件坐标系原点设定在其装夹后的工件右端面轴线上。

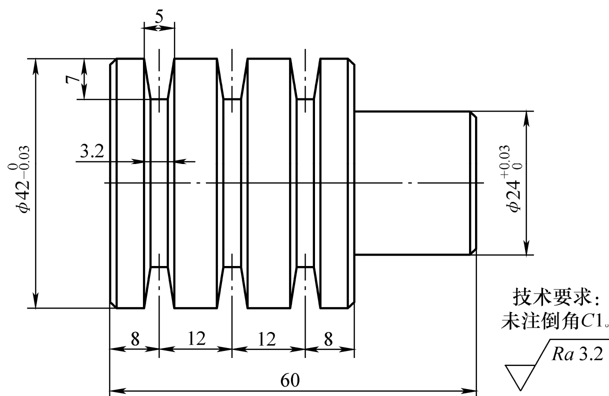


图 2-9 实例 8 零件图

2. 刀具与切削用量选择

分析图 2-9 零件结构，需要加工外圆面、梯形槽及端面。采用外圆车刀和宽 3mm 切槽刀完成该零件的加工。

零件加工材料为 45 钢，硬度较高，切削力较大，切削速度应选择低些。根据加工要求，切削用量的选择见表 2-20。

表 2-20 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	车端面	T01	500	0.2	1～2
2	粗车右端ϕ24mm 外圆面，留 0.5mm 精加工余量	T01	500	0.2	1～2
3	精车右端ϕ24mm 外圆面	T01	800	0.1	0.25
4	调头，手动车削端面保证总长	T01	500	0.2	1～2
5	车削左端ϕ42mm 外圆面	T01	800	0.1	1～2
6	加工梯形槽	T02	400	0.08	3

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 2-21 和表 2-22。

表 2-21 数控加工参考程序（右端）

程　　序	说　　明
O0801；	主程序名（右端）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X45.0 Z3.0；	
N040 G71 U1.5 R0.5；	粗车右端外轮廓
N050 G71 P60 Q120 U0.5 W0 F0.2；	
N060 G00 X20.0 S800；	
N070 G01 Z1.0 F0.1；	
N080 X24.0 Z-1.0；	
N090 Z-20.0；	
N100 X42.0 C1.0；	

（续）

程　　序	说　　明
N110 Z-29.0；	
N120 X45.0；	
N130 G70 P60 Q120；	精车右端外轮廓
N140 G00 X100.0；	
N150 Z100.0；	刀具退至换刀点
N160 M30；	程序结束

表 2-22　数控加工参考程序（左端）

程　　序	说　　明
O0802；	主程序名（左端）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X45.0 Z3.0；	
N040 G90 X42.5 Z-33.0 F0.2；	车削左端外轮廓
N050 G00 X38.0 S800；	
N060 G01 Z1.0 F0.1；	
N070 X42.0 Z-1.0；	
N080 Z-33.0；	
N090 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N100 Z100.0；	
N110 M05；	
N120 M00；	
N130 T0202；	调用切槽刀
N140 M03 S400；	
N120 G99 G00 X43.0 Z5.0；	
N120 M98 P2083 L3；	调用子程序加工梯形槽
N120 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N130 Z100.0；	
N140 M30；	程序结束
O2083；	子程序名（梯形槽）
N010 G99 G00 W-12.0；	
N020 G01 X28.1 F0.08；	
N030 X43.0；	
N040 W-1.0；	
N050 X42.0；	
N060 X28.1 W0.9；	
N070 X43.0；	
N080 W1.1；	
N090 X42.0；	
N100 X28.0 W-0.9；	
N110 W-0.2；	
N120 X43.0；	
N130 W0.1；	
N140 M99；	子程序结束

2.4 螺纹类零件编程加工（3 例）

2.4.1 实例 9——螺纹类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 2-10 螺纹零件可以一次装夹加工出外圆面、圆弧面、退刀槽及螺纹，然后切断。工件用自定心卡盘装夹，用划针盘找正。根据工件坐标系建立原则，将工件坐标系原点设定在其装夹后的工件右端面轴线上。

该零件外形轮廓为单向递增，可采用 G71 复合循环进行编程加工。M24×1.5 的螺纹采用 G92 固定循环指令进行编程，每次的背吃刀量分别为 0.8mm、0.6mm、0.4mm、0.15mm。如图 2-11 所示，根据△*AOB* 计算出 *A* 点的坐标为：*X*=38.0，*Z*=–42.0。

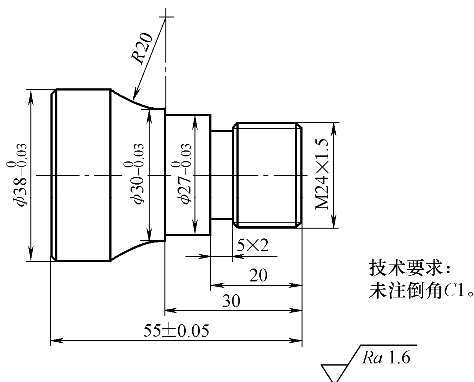


图 2-10 实例 9 零件图

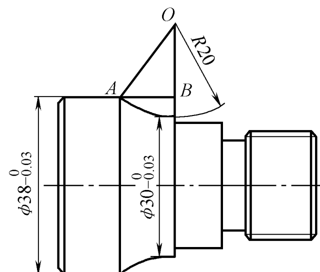


图 2-11 基点计算图

2. 刀具与切削用量选择

该零件需要加工外圆面、圆弧面、螺纹退刀槽、螺纹及端面。根据加工要求，选用的刀具见表 2-23。

表 2-23 刀具选择

序　号	刀 具 号	刀 具 类 型	规　格	数　量	用　途
1	T01	外圆车刀	93°	1	粗精车各外圆面及端面
2	T02	切槽刀	宽 4mm	1	加工螺纹退刀槽及切断
3	T03	外螺纹刀	60°	1	车削螺纹

零件加工材料为硬铝，硬度较低，切削力较小，切削用量可以选择大些。根据加工要求，切削用量的选择见表 2-24。

表 2-24 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/r）	背吃刀量/mm
1	车端面	T01	500	0.2	1～2
2	粗车左端外形轮廓，留 0.4mm 精车余量	T01	600	0.2	1～2
3	精车左端外形轮廓	T01	1000	0.1	0.2
4	加工螺纹退刀槽	T02	400	0.1	4
5	车削螺纹	T03	600	1.5	
6	切断	T02	400	0.1	4

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 2-25。

表 2-25 数控加工参考程序

程　　序	说　　明
O0901；	主程序名
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S600；	
N030 G00 G99 X42.0 Z3.0；	
N040 G71 U1.5 R0.5；	粗车外轮廓
N050 G71 P60 Q150 U0.4 W0 F0.2；	
N060 G42 G00 X20.0 S1000；	
N070 G01 Z1.0 F0.1；	
N080 X23.85 Z-1.0；	
N090 Z-20.0；	
N100 X27.0；	
N110 Z-30.0；	
N120 X30.0；	
N130 G02 X38.0 Z-42.0 R20.0；	
N140 G01 Z-60.0；	
N150 G40 X42.0；	
N160 G70 P60 Q150；	精车外轮廓
N170 G00 X100.0；	
N180 Z100.0；	刀具退至换刀点
N190 M05；	
N200 M00；	
N210 T0202；	调用切槽刀
N220 M03 S400；	
N230 G00 G99 X28.0 Z-20.0；	加工退刀槽
N240 G01 X20.1 F0.1；	
N250 X28.0；	
N260 W2.0；	
N270 X24.0；	
N280 X22.0 W-1.0；	
N290 X20.0；	
N300 W-1.0；	
N310 X28.0；	
N320 G00 X100.0；	
N330 Z100.0；	刀具退至换刀点
N340 M05；	
N350 M00；	
N360 T0303；	调用外螺纹刀
N370 M03S 600；	
N380 G00 G99 X26.0 Z4.0；	
N390 G92 X23.2 Z-17.5 F1.5；	车螺纹
N400 X22.6；	

（续）

程序	说明
N410 X22.2；	
N420 X22.05；	
N430 X22.05；	
N440 G00 X100.0；	
N450 Z100.0；	刀具退至换刀点
N460 M30；	程序结束

2.4.2 实例 10——螺纹类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

图 2-12 内螺纹零件外形轮廓和内型腔都需要加工，采用两次装夹调头加工。工件用自定心卡盘装夹，先加工一端，调头后用划针盘找正，再加工另一端。根据工件坐标系建立原则，两次装夹加工时都将工件坐标系原点设定在其装夹后的工件右端面轴线上。

该零件外形轮廓为台阶轴，可采用 G90 固定循环指令进行编程加工。螺纹为 M36×1.5，采用 G92 固定循环指令进行编程。车削内螺纹前需要先加工出内孔，孔径尺寸为 $D_1=D-P=$（36−1.5）mm=34.5mm。

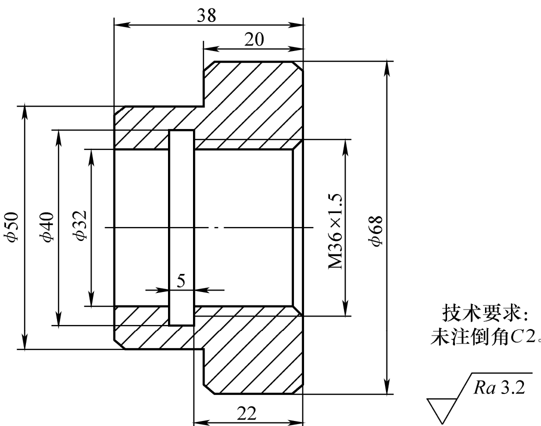


图 2-12 实例 10 零件图

2. 刀具与切削用量选择

零件需要加工外圆面、内圆面、内螺纹退刀槽、内螺纹及端面。根据加工要求，选用的刀具见表 2-26。

表 2-26 刀具选择

序号	刀具号	刀具类型	规格	数量	用途
1	T01	外圆车刀	90°	1	车端面、粗精车外圆
2		中心钻	ϕ3mm		钻中心孔（手动）
3		麻花钻	ϕ30mm		钻内孔（手动）
4	T02	内孔车刀	90°	1	粗精车内孔
5	T03	内切槽刀	宽 5mm	1	加工内螺纹退刀槽
6	T04	内螺纹车刀	—	1	车削内螺纹

零件加工材料为45钢，硬度较高，切削力较大，切削速度应选择低些。根据加工要求，切削用量的选择见表2-27。

表2-27 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/r）	背吃刀量/mm
1	钻中心孔	—	800	0.15	1.5
2	钻内孔	—	300	0.15	15
3	车端面	T01	500	0.2	1～2
4	粗车ϕ50mm外圆，留0.5mm精车余量	T01	500	0.2	1～2
5	精车ϕ50mm外圆	T01	800	0.1	0.25
6	调头，车削右端面，保证总长	T01	500	0.2	1～2
7	粗车ϕ68mm外圆，留0.5mm精车余量	T01	500	0.2	1～2
8	精车ϕ68mm外圆	T01	800	0.1	0.25
9	粗车ϕ32mm内孔，留0.5mm精车余量	T02	400	0.15	1
10	精车ϕ32mm内孔	T02	600	0.08	0.25
11	加工内螺纹退刀槽	T03	400	0.1	5
12	车削内螺纹	T04	500	1.5	

3. 参考程序

在配置FANUC 0i系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表2-28、表2-29。

表2-28 数控加工参考程序（左端ϕ50mm外圆）

程　　序	说　　明
O1001；	主程序名（左端ϕ50mm外圆）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X71.0 Z3.0；	
N040 G90 X66.0 Z-22.0 F0.2；	粗车ϕ50mm外圆
N050 X62.0 Z-18.0；	
N060 X58.0；	
N070 X54.0；	
N080 X50.5；	
N090 G01 X44.0 Z1.0 S800；	
N100 X50.0 Z-2.0 F0.1；	
N110 Z-18.0；	
N120 X64.0；	精车ϕ50mm外圆
N130 X70.0 Z-21.0；	
N140 G00 X100.0；	
N150 Z100.0；	刀具退至换刀点
N160 M30；	程序结束

表 2-29 数控加工参考程序（ϕ68mm 外圆、内孔及螺纹）

程　　序	说　　明
O1002；	主程序名（ϕ68mm 外圆、内孔及螺纹）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X71.0 Z3.0；	
N040 G90 X68.5.0 Z-20.0 F0.2；	车削外圆轮廓
N050 G01 X62.0 Z1.0 S800；	
N060 X68.0 Z-2.0 F0.1；	
N070 Z-20.0；	
N080 G00 X100.0；	
N090 Z100.0；	刀具退至换刀点
N100 T0202；	调用内孔车刀
N110 M03 S400；	
N120 G00 X28.0 Z2.0；	
N130 G90 G01 X31.5 Z-40.0 F0.15；	车削内孔
N140 X33.0 Z-25.0；	
N150 X34.0 Z-25.0；	
N160 G01 X42.0 S600；	
N170 Z1.0 F0.08；	
N180 X34.5 Z-2.0；	
N190 Z-25.0；	
N200 X32.0；	
N210 Z-40.0；	
N220 X28.0；	
N230 G00 Z100.0；	
N240 X100.0；	刀具退至换刀点
N250 T0303；	调用内切槽刀
N260 M03 S400；	
N270 G00 X30.0；	
N280 Z-27.0；	加工退刀槽
N290 X40.0 F0.1；	
N300 G04 P2000；	
N310 X30.0；	
N320 G00 Z100.0；	
N330 X100.0；	刀具退至换刀点
N340 T0404；	调用内螺纹车刀
N350 M03 S500；	
N360 G00 G99 X30.0 Z4.0；	
N370 G92 X35.0 Z-25.0 F1.5；	车削内螺纹
N380 X35.5；	
N390 X35.8；	
N400 X36.0；	
N410 X36.0；	
N420 G00 X100.0；	
N430 Z100.0；	刀具退至换刀点
N440 M30；	程序结束

2.4.3 实例 11——螺纹类零件编程加工（三）

1. 零件工艺分析

数控车床上常用的螺纹车削方法有直进法、斜进法和交错切削法等几种，直进法在 FANUC 系统数控车床上可采用 G92 指令来实现；斜进法和交错切削法在车削中不易引起“扎刀”现象，在 FANUC 系统数控车床上可采用 G76 指令来实现。

图 2-13 锥螺纹零件轮廓较简单。工件用自定心卡盘装夹。根据工件坐标系建立原则，将工件坐标系原点设定在其装夹后的工件右端面轴线上。锥螺纹用螺纹切削复合循环 G76 指令编程加工。

车削外螺纹前外圆直径 $d_{实际}=d-0.1P$，故螺纹大端直径为ϕ17.85mm，小端直径为ϕ13.85mm；螺纹实际牙型高度 $h=0.65P=0.975$mm；螺纹终点小径=（18–2×0.975）mm=16.05mm。

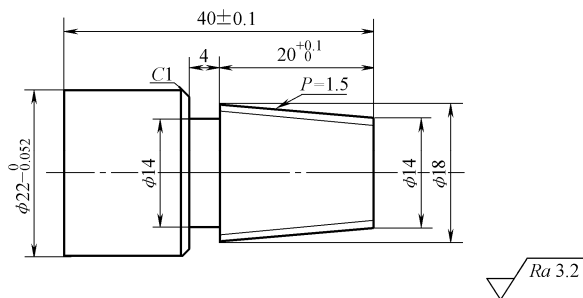


图 2-13　实例 11 零件图

2. 刀具与切削用量选择

零件需要加工外圆面、退刀槽、锥螺纹及端面。根据加工要求，选用的刀具见表 2-30。

表 2-30　刀具选择

序　　号	刀　具　号	刀 具 类 型	规　　格	数　　量	用　　途
1	T01	外圆粗车刀	90°	1	粗车外圆面及端面
2	T02	外圆精车刀	90°	1	精车外圆面
3	T03	切槽刀	宽 4mm	1	加工螺纹退刀槽及切断
4	T04	外螺纹刀	60°	1	车螺纹

零件加工材料为硬铝，硬度较低，切削力较小，切削用量可以选择大些。根据加工要求，切削用量的选择见表 2-31。

表 2-31　切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	车右端面	T01	600	0.2	1～2
2	粗车外形轮廓，留 0.4mm 精车余量	T01	600	0.2	1～2
3	精车外形轮廓，	T02	800	0.1	0.2
4	加工螺纹退刀槽	T03	400	0.08	4
5	车削螺纹	T04	400	1.5	0.1～0.4
6	切断	T03	400	0.08	4

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 2-32。

表 2-32 数控加工参考程序

程　序	说　明
O1101；	主程序名
N010 M03 S600；	
N020 T0101；	调用外圆车刀
N030 G00 X0 Z5.0；	
N040 G01 Z0 F0.2；	
N050 X22.4；	车端面
N060 Z-45.0；	粗车ϕ22mm 外圆
N070 X26.0；	
N080 G00 Z3.0；	
N090 X18.4；	
N100 G01 Z-23.6；	粗车锥螺纹外圆
N110 X24.0；	
N120 G00 Z3.0；	
N130 X14.4；	
N140 G01 Z0；	
N150 G01 X18.4 Z-20.0；	第二次粗车锥螺纹外圆
N160 Z-23.6；	
N170 X24.0；	
N180 G00 X100.0 Z200.0；	
N190 T0202；	换外圆精车刀
N200 M03 S800 F0.1；	
N210 G00 X13.85 Z3.0	
N220 G01 Z0；	
N230 X17.85 Z-20.05；	
N240 Z-24.05；	
N250 X21.947 C1.0；	
N260 Z-45.0；	精车ϕ22mm 外圆
N270 X26.0；	
N280 G00 X100.0 Z200.0；	
N290 T0303；	换切槽刀
N300 G00 X26.0 Z-24.05；	
N310 G01 X14.0 F0.08；	车螺纹退刀槽
N320 G04 X2.0；	槽底暂停 2s
N330 G01 X26.0 F0.2；	
N340 G00 X100.0 Z200.0；	
N350 T0404；	换螺纹车刀
N360 M03 S400；	
N370 G00 X20.0 Z3.0；	
N380 G76 P021160 Q100 R50；	设置螺纹参数，调用螺纹切削复合循环
N390 G76 X16.05 Z-20.0 R-2.0 P975 Q400 F1.5；	
N400 G00 X100.0 Z200.0；	

（续）

程　　序	说　　明
N410 T0303；	换切槽刀
N420 M03 S400；	
N430 G00 X29.0 Z-44.0；	
N440 G01 X0 F0.08；	切断
N450 X26 F0.2；	
N460 G00 X100.0 Z200.0；	
N470 M30；	程序结束

2.5 盘套类零件编程加工（3 例）

2.5.1 实例 12——盘套类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

盘套类零件一般由孔、外圆、端面构成，其技术要求除表面粗糙度和尺寸精度之外，还有位置精度要求。

图 2-14 零件为轴套，该零件需要加工内、外圆表面，内圆表面有精度要求，需要精车，圆弧 $R0.5$mm 处使用外圆车刀磨出刀尖圆弧 $R0.5$mm 直接车出。将图样尺寸$\phi 25^{+0.033}_{0}$ mm 换算成编程尺寸ϕ（25.017 ±0.016）mm，将尺寸$\phi 35^{+0.039}_{0}$ 换算成编程尺寸ϕ（35.020±0.020）mm。工件用自定心卡盘装夹，调头后用划针盘找正。根据工件坐标系建立原则，两次装夹加工时都将工件坐标系原点设定在其装夹后的工件右端面轴线上。

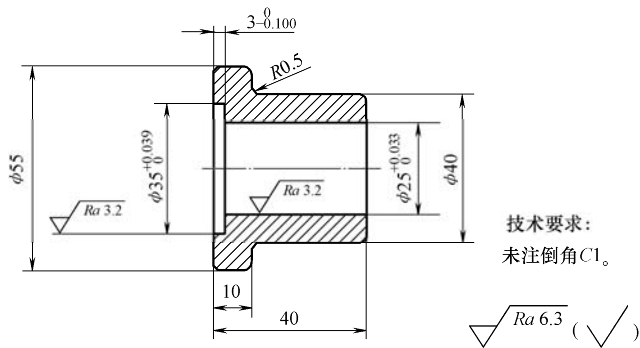


图 2-14　实例 12 零件图

2. 刀具与切削用量选择

该零件需要加工内、外圆表面，根据加工要求，刀具选用见表 2-33。

表 2-33　刀具选择

序　　号	刀　具　号	刀 具 类 型	规　　格	数　　量	用　　途
1	T01	外圆车刀	90°	1	精车外圆、倒角、圆角
2	T02	内孔车刀	90°	1	粗车内孔、精车内孔
3	T03	切断刀	宽 4mm	1	切断工件
4	—	麻花钻	ϕ20 mm	1	手动钻孔
5	—	中心钻	ϕ4 mm	1	车端面、手动打中心孔

零件毛坯为ϕ60mm 圆钢，加工材料为 45 钢，硬度较高，切削力较大，切削速度应选择低些。根据加工要求，切削用量的选择见表 2-34。

表 2-34　切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	车端面，打中心孔（手动）	—	600	—	—
2	手动钻ϕ20 mm 孔，深 50mm	—	300	—	—
3	粗车内孔至ϕ24 mm，留单边精车余量 0.5mm	T02	600	0.2	1
4	精车内孔至ϕ25 mm，倒角，车 R0.5 mm 圆角	T02	600	0.05	0.5
5	精车外圆ϕ40 mm、ϕ55 mm，倒角，车 R0.5 mm 圆角	T01	600	0.2	1
6	切断，工件长 41mm	T03	300	0.1	
7	调头，车端面，倒角，车止口	T02	600	0.05	3

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 2-35、表 2-36。

表 2-35　数控加工参考程序

程　　序	说　　明
O1201；	主程序名
N010 M03 S600；	
N020 T0202 M08；	调用内孔车刀
N030 G00 X17.0 Z4.0；	快速定位至循环起点
N040 G90 X22.0 Z-42.0 F0.2；	车内孔
N050 X24.0；	车内孔
N060 X25.017 F0.05；	精车内孔$\phi 25^{+0.033}_{0}$ mm
N070 G00 Z50.0；	
N080 X100.0；	
N090 T0101；	调用外圆车刀
N100 G00 X80.0 Z4.0；	快速定位至循环起点
N110 G71 U1.0 R1.0；	G71 外圆粗车循环
N120 G71 P130 Q190 U1.0 W0.5 F0.2；	
N130 G00 X38.0；	
N140 G01 Z0 F0.05；	
N150 X40 Z-1.0；	
N160 Z-30.0；	
N170 X55.0；	
N180 Z-45.0；	
N190 X60.0；	
N200 G70 P130 Q190 S600 F0.05；	G70 精车循环
N210 G00 X50.0 Z100.0；	
N220 M09；	
N230 M30；	程序结束

表 2-36 数控加工参考程序（车止口）

程　　序	说　　明
O1202；	主程序名（车止口）
N010 M03 S600；	
N020 T0202 M08；	调用内孔车刀
N030 G00 X20.0 Z4.0；	
N040 G01 Z-3.0 F0.2；	
N050 X34.0；	粗车内孔
N060 X35.020 F0.05；	精车内孔
N070 G04 X2.0；	孔底暂停
N080 G01 X20.0 F0.5；	
N090 Z4.0；	
N100 G00 Z50.0；	
N110 X100.0；	
N120 M09；	
N130 M30；	程序结束

2.5.2 实例 13——盘套类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

如图 2-15 所示端盖属于典型的盘类零件，径向结构尺寸较大。该零件由外圆柱面、端面槽、外圆柱沟槽、外螺纹组成，尺寸精度要求较高，多数公差为 0.03mm，表面精度要求也较高，表面粗糙度值最小为 *Ra* 1.6 μm，无几何公差要求。

工件采用自定心卡盘夹紧，中间需要调头装夹。根据工件坐标系建立原则，两次装夹加工时都将工件坐标系原点设定在其装夹后的工件右端面轴线上。

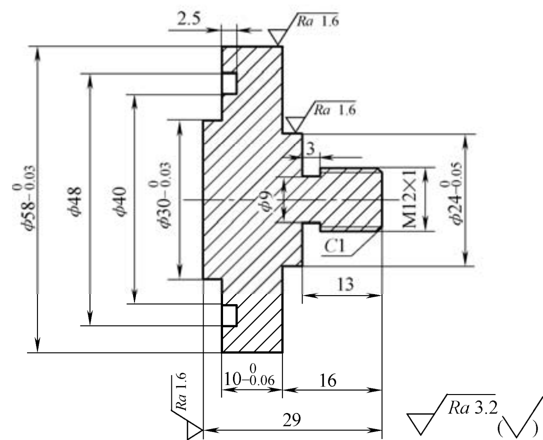


图 2-15 实例 13 零件图

2. 刀具与切削用量选择

依据零件加工内容，选用外圆车刀、切槽刀、端面直槽刀和外螺纹车刀。数控刀具选

择见表2-37。

表2-37 刀具选择

序号	刀具号	刀具名称	规格	数量	用途
1	T01	外圆车刀	95°	1	车端面、粗精车外轮廓
2	T02	切槽刀	宽3mm	1	切退刀槽
3	T03	外螺纹车刀	60°	1	车螺纹
4	T04	端面直槽刀	宽4mm	1	车端面槽

零件毛坯为ϕ60mm圆钢，加工材料为45钢，硬度较高，切削力较大，切削速度应选择低些。根据加工要求，切削用量的选择见表2-38。

表2-38 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/r）	背吃刀量/mm
1	车端面，粗车右端外圆至ϕ25 mm	T01	600	0.2	4
2	调头，夹持ϕ25 mm，加工左端，保证总长	T01	600	0.1	1
3	车端面槽	T04	500	0.05	4
4	调头，夹持ϕ58mm外圆，精加工右端	T01	恒线速切削，100m/min	0.1	0.8
5	切退刀槽	T02	500	0.1	3
6	车螺纹	T03	300	1	—

3. 参考程序

在配置FANUC 0i系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表2-39～表2-41。

表2-39 数控加工参考程序（右端）

程序	说明
O1301;	主程序名（右端）
N010 M03 S600;	
N020 T0101;	调用外圆车刀
N030 G00 X62.0 Z2.0;	
N040 G90 X56.0 Z-15.6 F0.2;	粗车右端
N050 X52.0;	
N060 X48.0;	
N070 X44.0;	
N080 X40.0;	
N090 X36.0;	
N100 G00 X38.0;	
N110 G90 X32.0 Z-15.6 F0.2;	
N120 X28.0;	粗车至ϕ25mm
N130 X25.0;	
N140 G00 X80.0 Z100.0;	
N150 M30;	程序结束

表 2-40 数控加工参考程序（左端）

程　　序	说　　明
O1302；	主程序名（左端）
N010 M03 S600；	
N020 T0101；	调用外圆车刀
N030 G00 X62.0 Z2.0；	
N040 G90 X58.0 Z-15.0 F0.1；	粗车左端
N050 G94 X30.5 Z-1.0 F0.1；	
N060 Z-2.6；	
N070 S800；	
N080 G00 X30.0；	
N090 G01 Z-3.0 F0.1；	精车左端
N100 X60.0；	
N110 G00 X100.0 Z100.0；	
N120 T0404 S500；	调用端面直槽刀
N130 G00 X48.0 Z2.0；	
N140 G01 Z-5.5 F0.05；	车端面槽
N150 G00 Z100.0；	
N160 X100.0；	
N170 M30；	程序结束

表 2-41 数控加工参考程序（车螺纹）

程　　序	说　　明
O1303；	主程序名（车螺纹）
N010 M03 S700；	
N020 T0101；	调用外圆车刀
N030 G00 X26.0 Z2.0；	
N040 G90 X21.0 Z-15.6 F0.2；	
N050 X17.0；	
N060 X13.0；	
N070 G96 G00 X10.0 Z2.0 S100；	精车右端
N080 G01 Z0；	
N090 X12.0 Z-1.0；	
N100 Z-13.0；	
N110 X24.0；	
N120 Z-16.0；	
N130 X60.0；	
N140 G97 S500；	
N150 G00 X100.0 Z100.0；	
N160 T0202；	调用切槽刀
N170 G00 X25.0 Z-13.0；	
N180 G01 X9.0 F0.1；	切退刀槽
N190 G04 X2.0；	
N200 G00 X100.0；	
N210 Z100.0；	
N220 T0303；	调用外螺纹车刀
N230 S600；	
N240 G00 X15.0 Z5.0；	

（续）

程　　序	说　　明
N250 G92 X11.3 Z-11.0 F1.0；	车螺纹
N260 X10.9；	
N270 X10.7；	
N280 G00 X100.0；	
N290 Z100.0；	
N300 M30；	程序结束

2.5.3 实例 14——盘套类零件编程加工（三）

1. 零件工艺分析

图 2-16 锥套零件的外形轮廓和内型腔都需要加工，采用两次装夹调头加工。工件用自定心卡盘装夹，先加工左端，调头后用划针盘找正，再加工右端及内孔。根据工件坐标系建立原则，两次装夹加工时都将工件坐标系原点设定在其装夹后的工件右端面轴线上。

该锥套零件外形轮廓和内孔形状都为单调递增，可采用 G71 复合循环指令进行编程。需要注意的是，使用 G71 指令加工内孔时，精加工余量 U 应为负号。

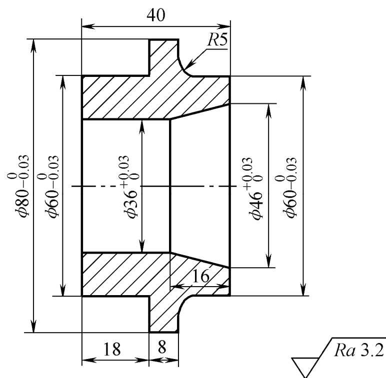


图 2-16 实例 14 零件图

2. 刀具与切削用量选择

该零件需要加工外圆面、内圆面及端面。根据加工要求选用的刀具见表 2-42。

表 2-42 刀具选择

序　　号	刀　具　号	刀 具 类 型	规　　格	数　　量	用　　途
1	—	中心钻	ϕ3mm	1	钻中心孔（手动）
2	—	麻花钻	ϕ32mm	1	钻内孔（手动）
3	T01	外圆车刀	90°	1	车端面、粗精车外圆
4	T02	内孔车刀	75°	1	粗精车内孔

零件加工材料为 45 钢，硬度较高，切削力较大，切削速度应选择低些。根据加工要求，切削用量的选择见表 2-43。

表 2-43 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	钻中心孔	—	800	0.15	1.5
2	钻内孔	—	300	0.15	16
3	车端面	T01	500	0.2	1～2
4	粗车ϕ60 mm 及ϕ80 mm 外圆，留 0.5mm 精车余量	T01	500	0.2	1～2
5	精车ϕ60 mm 及ϕ80 mm 外圆	T01	800	0.1	0.25
6	调头，车削右端面，保证总长	T01	500	0.2	1～2
7	粗车ϕ60 mm 及 R5 mm 外圆，留 0.5mm 精车余量	T01	500	0.2	1～2
8	精车ϕ60 mm 及 R5 mm 外圆	T01	800	0.1	0.25
9	粗车ϕ36 mm 及锥孔内轮廓，留 0.5mm 精车余量	T02	400	0.15	1
10	精车ϕ36 mm 及锥孔内轮廓	T02	600	0.08	0.25

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 2-44～表 2-46。

表 2-44 数控加工参考程序（左端外轮廓）

程　　序	说　　明
O1401；	主程序名（左端外轮廓）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X85.0 Z3.0；	
N040 G71 U1.5 R0.5；	粗车左端外轮廓
N050 G71 P60 Q100 U0.5 W0 F0.2；	
N060 G00 X60.0 S800；	
N070 G01 Z-18.0 F0.1；	
N080 X80.0；	
N090 Z-28.0；	
N100 X85.0；	
N110 G70 P60 Q100；	精车左端外轮廓
N120 G00 X100.0；	
N130 Z100.0；	刀具退至换刀点
N140 M30；	程序结束

表 2-45 数控加工参考程序（右端外轮廓）

程　　序	说　　明
O1402；	主程序名（右端外轮廓）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X85.0 Z3.0；	
N040 G71 U1.5 R0.5；	粗车右端外轮廓
N050 G71 P60 Q100 U0.5 W0 F0.2；	
N060 G42 G00 X60.0 S800；	
N070 G01 Z-9.0 F0.1；	
N080 G02 X70.0 Z-14.0 R5.0；	
N090 G01 X82.0；	
N100 G40 X85.0；	
N110 G70 P60 Q100；	精车右端外轮廓
N120 G00 X100.0；	
N130 Z100.0；	刀具退至换刀点
N140 M30；	程序结束

表 2-46 数控加工参考程序（内轮廓）

程　　序	说　　明
O1403；	主程序名（内轮廓）
N010 T0202；	调用内圆车刀
N020 M03 S400；	
N030 G00 G99 X29.0 Z1.6；	
N040 G71 U1.0 R0.5；	粗车内轮廓
N050 G71 P60 Q90 U-0.5 W0 F0.15；	
N060 G41 G00 X47.0 S600；	
N070 G01 X36.0 Z-16.0 F0.1；	
N080 Z-42.0；	
N090 G40 X29.0；	
N100 G70 P60 Q90；	精车内轮廓
N110 G00 X100.0；	
N120 Z100.0；	刀具退至换刀点
N130 M30；	程序结束

2.6 非圆曲线类零件编程加工（2 例）

2.6.1 实例 15——非圆曲线类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 2-17 零件左端轮廓为椭圆面，右端为阶梯轴和外螺纹，一次装夹无法完成加工，采用两次装夹来完成。工件用自定心卡盘装夹，先加工右端阶梯轴及螺纹，调头后用划针盘找正，再加工左端椭圆面。根据工件坐标系建立原则，两次装夹加工时都将工件坐标系原点设定在其装夹后的工件右端面轴线上。

零件右端加工较为简单，但左端轮廓为椭圆曲线，数控编程指令没有类似椭圆这样的非圆曲线指令，因此采用宏程序来完成椭圆曲线的编程加工。

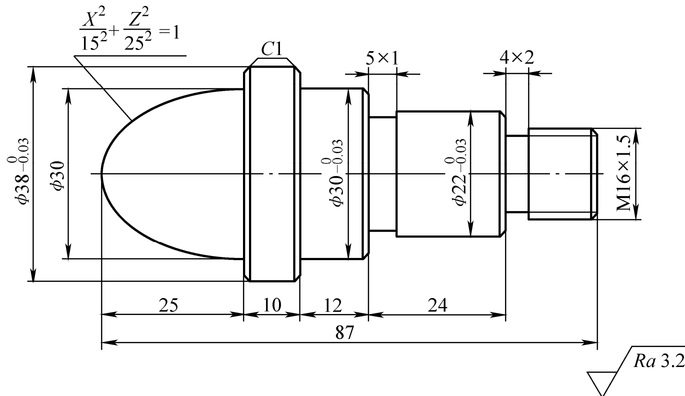


图 2-17 实例 15 零件图

2. 刀具与切削用量选择

该零件需要加工外轮廓、外槽及外螺纹。根据加工要求，选用外圆车刀、宽 4mm 切槽刀及外螺纹刀即可完成该零件的加工。

零件加工材料为 45 钢，硬度较高，切削力较大，切削速度应选择低些。根据加工要求，切削用量的选择见表 2-47。

表 2-47　切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	车端面	T01	500	0.2	1～2
2	粗车右端轮廓，留 0.5mm 精车余量	T01	500	0.2	1～2
3	精车右端轮廓	T01	800	0.1	0.25
4	加工槽及螺纹退刀槽	T02	300	0.1	4
5	加工外螺纹	T03	500	1.5	—
6	调头，车削左端面，保证总长	T01	500	0.2	1～2
7	粗车椭圆轮廓，留 1.0mm 余量	T01	500	0.2	1～2
8	半精车椭圆轮廓，留 0.5mm 余量	T01	500	0.2	0.25～1
9	精车椭圆轮廓及 ϕ38mm 外圆	T01	800	0.1	0.25

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 2-48～表 2-50。

表 2-48　数控加工参考程序（右端外轮廓）

程　序	说　明
O1501；	主程序名（右端外轮廓）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X42.0 Z3.0；	
N040 G71 U1.5 R0.5；	粗车右端外轮廓
N050 G71 P60 Q160 U0.5 W0 F0.2；	
N060 G00 X12.0 S800；	
N070 G01 Z1.0 F0.1；	
N080 X15.85 Z-1.0；	
N090 Z-16.0；	
N100 X22.0 C-1.0；	
N110 Z-40.0；	
N120 X30.0 C-1.0；	
N130 Z-52.0；	
N140 X40.0 C-2.0；	
N150 Z-55.0；	
N160 X41.0；	
N170 G70 P60 Q160；	精车右端外轮廓
N180 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N190 Z100.0；	
N200 M30；	程序结束

表 2-49 数控加工参考程序（槽及螺纹）

程 序	说 明
O1502；	主程序名（槽及螺纹）
N010 T0202；	调用切槽刀
N020 M03 S300；	
N030 G00 G99 X26.0 Z-16.0；	加工退刀槽
N040 G01 X12.0 F0.1；	
N050 X25.0；	
N060 G00 X32.0；	
N070 Z-40.0；	加工槽
N080 G01 X20.0；	
N090 X23.0；	
N100 W1.0；	
N110 X20.0；	
N120 W-1.0；	
N130 X32.0；	
N140 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N150 Z100.0；	
N160 M05；	
N170 M00；	程序暂停
N180 T0303；	调用外螺纹刀
N190 M03 S500；	
N200 G00 G99 X20.0 Z4.0；	
N210 G92 X15.2 Z-13.5 F1.5；	加工螺纹
N220 X14.6；	
N230 X14.2；	
N240 X14.05；	
N250 X14.05；	
N260 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N270 Z100.0；	
N280 M30；	程序结束

表 2-50 数控加工参考程序（左端）

程 序	说 明
O1503；	主程序名（左端）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X42.0 Z3.0；	
N040 G90 X38.5 Z-38.0 F0.2；	粗车削外圆
N050 X35.0 Z-25.0；	
N060 X31.0；	
N070 G00 X33.0；	粗车椭圆轮廓，留 1.0mm 余量
N080 #1=15.0；	

（续）

程　　序	说　　明
N090 #1=#1-3.0；	
N100 #2=SQRT[1-#1*#1/15.0/15.0]*25.0；	
N110 G90 X[2*#1+1.0] Z[#2-25.0+0.2]；	
N120 IF [#1 GT 0] GOTO 90；	
N130 G00 G42 X0.5 Z3.0；	半精车椭圆轮廓，留 0.5mm 余量
N140 G01 Z0.2；	
N150 #1=0.0；	
N160 WHILE [#1 LE 15.0] DO1；	
N170 #2=SQRT[1-#1*#1/15.0/15.0]*25.0；	
N180 G01 X[2*#1+0.5] Z[#2-40.0+0.2]；	
N190 #1=#1+0.2；	
N200 END1；	
N210 G01 X40.0；	
N220 G00 Z3.0；	
N230 X-2.0 S800；	精车左端轮廓
N240 Z1.0；	
N250 G02 X0 Z0 R1.0 F0.1；	
N260 #1=0.0；	
N270 WHILE [#1 LE 15.0] DO2；	
N280 #2=SQRT[1-#1*#1/15.0/15.0]*25.0；	
N290 G01 X[2*#1] Z[#2-40.0]；	
N300 #1=#1+0.05；	
N310 END2；	
N320 G01 X40.0 C-1.0；	
N330 Z-38.0；	
N340 G40 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N350 Z100.0；	
N360 M30；	程序结束

2.6.2　实例 16——非圆曲线类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

图 2-18 零件左端轮廓为外圆面与圆锥面，右端为抛物线轮廓面与外圆面，一次装夹无法完成加工，采用两次装夹来完成。工件用自定心卡盘装夹，先加工左端轮廓，调头后用划针盘找正，再加工右端抛物线。根据工件坐标系建立原则，两次装夹加工时都将工件坐标系原点设定在其装夹后的工件右端面轴线上。

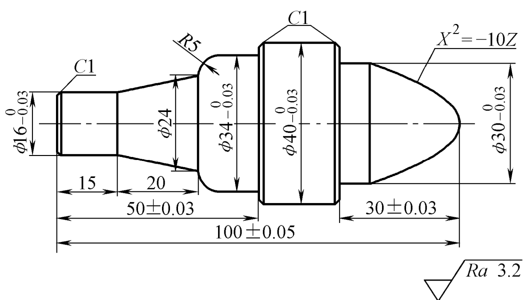


图 2-18　实例 16 零件图

由图 2-18 可知抛物线轮廓 X 的取值范围为[0，15]，而 Z 的取值范围不可知，因此在编写抛物线的宏程序时 X 设置为自变量，Z 设

置为因变量。

2. 刀具与切削用量选择

该零件需要加工的全部为外轮廓面。选用外圆车刀即可完成该零件的全部加工。根据加工要求，切削用量的选择见表 2-51。

表 2-51 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	车端面	T01	500	0.2	1～2
2	粗车左端轮廓，留 0.5mm 精车余量	T01	500	0.2	1～2
3	精车左端轮廓	T01	800	0.1	0.25
4	调头，车削右端面，保证总长	T01	500	0.2	1～2
5	粗车右端轮廓，留 1.0mm 余量	T01	500	0.2	1～2
6	半精车右端轮廓，留 0.5mm 余量	T01	500	0.2	0.25～1
7	精车右端轮廓	T01	800	0.1	0.25

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 2-52、表 2-53。

表 2-52 数控加工参考程序（左端）

程　　序	说　　明
O1601；	主程序名（左端）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X43.0 Z3.0；	
N040 G71 U1.5 R0.5；	粗车左端外轮廓
N050 G71 P60 Q150 U0.5 W0 F0.2；	
N060 G42 G00 X12.0 S800；	
N070 G01 Z1.0 F0.1；	
N080 X16.0 Z-1.0；	
N090 Z-15.0；	
N100 X24.0 Z-35.0 C-1.0；	
N110 G03 X34.0 Z-40.0 R5.0；	
N120 G01 Z-50.0；	
N130 X40.0 C-1.0；	
N140 Z-72.0；	
N150 G40 X42.0；	
N160 G70 P60 Q150；	精车左端外轮廓
N170 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N180 Z100.0；	
N190 M30；	程序结束

表 2-53　数控加工参考程序（右端）

程　　序	说　　明
O1602；	主程序名（右端）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X42.0 Z3.0；	
N040 G90 X39.0 Z-30.0 F0.2；	粗车外圆
N050 X36.0；	
N060 X33.0；	
N070 G00 X33.0；	粗车抛物线轮廓，留 1.0mm 余量
N080 #1=15.0；	
N090 WHILE [#1 GE 0] DO1；	
N100 #2=-#1*#1/10.0；	
N110 G90 X[2*#1+1.0] Z[#2+0.2]；	
N120 #1=#1-3.0；	
N130 END1；	
N140 G00 G42 X0.5 Z3.0；	半精车抛物线轮廓，留 0.5mm 余量
N150 G01 Z0.2；	
N160 #1=0.0；	
N170 #1=#1+0.2；	
N180 #2=-#1*#1/10.0；	
N190 G01 X[2*#1+0.5] Z[#2+0.2]；	
N200 IF [#1 LT 15.0] GOTO 180；	
N210 G01 Z-29.8；	
N220 X42.0；	
N230 G00 Z3.0；	
N240 X-2.0 S800；	精车右端轮廓
N250 Z1.0；	
N260 G02 X0 Z0 R1.0 F0.1；	
N270 #1=0.0；	
N280 WHILE [#1 LE 15.0] DO2；	
N290 #2=-#1*#1/10.0；	
N300 G01 X[2*#1] Z#2；	
N310 #1=#1+0.05；	
N320 END2；	
N330 G01 Z-30.0；	
N340 X38.0；	
N350 X42.0 Z-32.0；	
N360 G40 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N370 Z100.0；	
N380 M30；	程序结束

2.7 综合类零件编程加工（4 例）

2.7.1 实例 17——综合类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

如图 2-19 所示，该零件为金属软管过渡套，壁最薄处为 4.5mm。该零件由外圆柱面、内孔面、内外螺纹、内沟槽、球面等组成，零件总长为 70 mm，较短，选用自定心卡盘夹紧。根据工件坐标系建立原则，将工件坐标系原点设定在其装夹后的工件右端面轴线上。

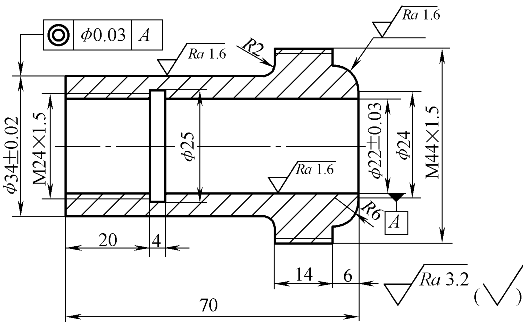


图 2-19 实例 17 零件图

2. 刀具与切削用量选择

依据零件加工内容，选用外圆车刀、钻头、内孔车刀、内切槽刀和内螺纹车刀、外螺纹车刀。数控刀具选择见表 2-54。

表 2-54 刀具选择

序号	刀具号	刀具名称	规格	数量	用途
1	T01	外圆车刀	95°	1	车端面、粗精车外轮廓
2	T02	内切槽刀	宽 4 mm	1	内沟槽加工
3	T03	内孔车刀	95°	1	车内孔
4	T04	外螺纹车刀	60°	1	车外螺纹
5	T05	内螺纹车刀	—	1	车内螺纹
6	—	钻头	φ20 mm	1	钻内孔（手动）

毛坯为φ45 mm 圆钢，零件加工材料为 45 钢，硬度较高，切削力较大，切削速度应选择低些。根据加工要求，切削用量的选择见表 2-55。

表 2-55 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	钻内孔	T06	500	0.1	—
2	车左端面	T01	600	0.2	1～2
3	粗车左端外轮廓，留 0.5mm 精车余量	T01	600	0.2	1～2
4	精车左端外轮廓	T01	900	0.1	0.5
5	精车内孔	T03	900	0.1	0.5
6	切内槽	T02	400	0.1	4
7	车内螺纹	T05	600	1.5	—
8	调头，车削右端面，保证总长	T01	600	0.2	1～2
9	粗车右端外轮廓，留 0.5mm 精车余量	T01	600	0.2	1～2
10	精车右端外轮廓	T01	900	0.1	0.5
11	车外螺纹	T04	600	1.5	—

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 2-56、表 2-57。

表 2-56 数控加工参考程序（左端）

程　序	说　明
O1701；	主程序名（左端）
N010 M03 S600；	
N020 T0101；	调用外圆车刀
N030 G00 X46.0 Z5.0；	
N040 G90 X42.0 Z-50.0 F0.2；	粗车左端外圆
N050 X38.0；	
N060 X34.5 Z-48.0；	
N070 S900；	精车左端外圆
N080 G00 X34.0 Z5.0；	
N100 G01 Z-48.0 F0.1；	
N100 G02 X38.0 Z-50.0 R2.0；	
N110 G01 X50.0；	
N120 G00 Z100.0；	
N130 T0303；	调用内孔车刀
N140 G00 X22.0 Z5.0；	精车内孔
N150 G01 Z-76.0 F0.1；	
N160 G00 X20.0；	
N170 Z100.0；	
N180 S400；	
N190 T0202；	调用内切槽刀
N200 G00 X20.0 Z5.0；	
N210 Z-24.0；	车内槽
N220 G01 X25.0；	
N230 G04 X2.0；	
N240 G00 X20.0；	
N250 Z100.0；	
N260 S600；	
N270 T0505；	调用内螺纹车刀
N280 G00 X20.0 Z5.0；	
N290 G92 X22.7 Z-22.0 F1.5；	车内螺纹
N300 X23.3；	
N310 X23.8；	
N320 X24.0；	
N330 G00 Z100.0；	
N340 X100.0；	
N350 M30；	程序结束

表 2-57 数控加工参考程序（右端）

程　序	说　明
O1702；	主程序名（右端）
N010 M03 S600；	
N020 T0101；	调用外圆车刀
N030 G00 X46.0 Z5.0；	
N040 G90 X42.0 Z-6.0 F0.2；	粗车右端外圆
N050 X39.0；	
N060 X36.5；	
N070 G00 X28.0 Z5.0；	去除大余量
N080 G01 Z0 F0.2；	
N090 X44 Z-5.0；	
N100 G00 Z5.0；	
N110 X20.0；	
N120 S900；	
N130 G01 Z0 F0.1；	精车右端外圆
N140 X24.0；	
N150 G03 X36.0 Z-6.0 R6.0；	
N160 G01 X44.0；	
N170 Z-22.0；	
N180 G00 X50.0；	
N190 Z100.0；	
N200 T0404；	调用外螺纹车刀
N210 S600；	
N220 G00 X48.0 Z-3.0；	
N230 G92 X43.3 Z-22.0 F1.5；	车外螺纹
N240 X42.7；	
N250 X42.3；	
N260 X42.05；	
N270 G00 X100.0；	
N280 Z100.0；	
N290 M30；	程序结束

2.7.2 实例 18——综合类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

图 2-20 综合零件的左端由外圆面、内圆面、梯形槽组成，右端由圆弧面、退刀槽及螺纹组成，采用两次装夹调头加工。工件用自定心卡盘装夹，先加工左端外形及内孔，调头后用划针盘找正，再加工右端轮廓及螺纹。根据工件坐标系建立原则，两次装夹加工时都将工件坐标系原点设定在其装夹后的工件右端面轴线上。

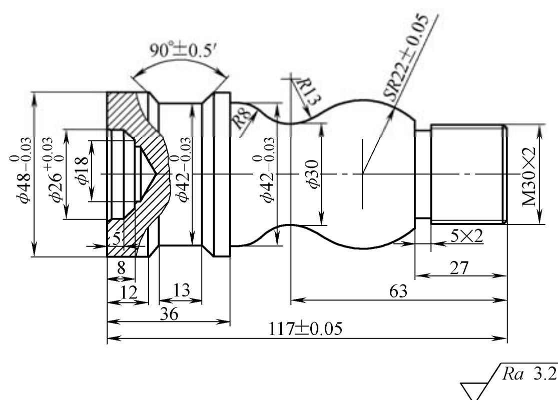


图 2-20　实例 18 零件图

加工零件左端梯形槽时，由于槽较浅，采用 V 形刀片的外圆车刀加工。零件右端外形轮廓由几段圆弧光滑连接，需要计算出各基点的坐标，如图 2-21 所示。几个计算量较大的基点坐标利用 CAD 给出：*A*（32.187，–27.0）、*B*（35.2，–55.2）、*C*（37.429，–72.098）、*D*（42.0，–77.697）。

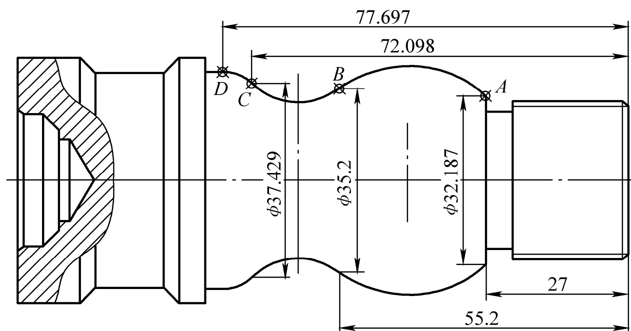


图 2-21　实例 18 基点坐标

2. 刀具与切削用量选择

该零件需要加工外圆面、内孔、圆弧面、外圆锥面、外螺纹退刀槽及外螺纹。根据加工要求，选用的刀具见表 2-58。

表 2-58　刀具选择

序　　号	刀　具　号	刀 具 类 型	规　　格	数　　量	用　　途
1	—	中心钻	ϕ3mm	1	钻中心孔（手动）
2	—	麻花钻	ϕ15mm	1	钻内孔（手动）
3	T01	外圆车刀	93°	1	车端面、粗精车外轮廓
4	T02	内孔车刀	93°	1	粗精车内孔
5	T03	切槽刀	宽 4mm	1	加工螺纹退刀槽
6	T04	外螺纹刀	60°	1	车削外螺纹

零件加工材料为 45 钢，硬度较高，切削力较大，切削速度应选择低些。根据加工要求，切削用量的选择见表 2-59。

表 2-59 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/r）	背吃刀量/mm
1	钻中心孔	—	800	0.15	1.5
2	钻内孔	—	300	0.15	7.5
3	车左端面	T01	500	0.2	1～2
4	粗车左端外轮廓，留 0.5mm 精车余量	T01	500	0.15	1～2
5	精车左端外轮廓	T01	800	0.1	0.25
6	粗车内轮廓，留 0.5mm 精车余量	T02	300	0.15	1
7	精车内轮廓	T02	400	0.08	0.25
8	调头，车削右端面，保证总长	T01	500	0.2	1～2
9	粗车右端外轮廓，留 0.5mm 精车余量	T01	500	0.15	1～2
10	精车右端外轮廓	T01	800	0.1	0.25
11	加工螺纹退刀槽	T03	300	0.1	4
12	车削外螺纹	T04	500	2.0	—

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 2-60～表 2-62。

表 2-60 数控加工参考程序（左端）

程　　序	说　　明
O1801；	主程序名（左端）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X52.0 Z3.0；	
N040 G73 U4.0 W0 R4；	粗车左端外轮廓
N050 G73 P60 Q120 U0.5 W0 F0.15；	
N060 G42 G00 X48.0 S800；	
N070 G01 Z-12.0 F0.1；	
N080 X42.0 Z-15.0；	
N090 Z-28.0；	
N100 X48.0 Z-31.0；	
N110 Z-40.0；	
N120 G40 X52.0；	
N130 G70 P60 Q120；	精车左端外轮廓
N140 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N150 Z100.0；	
N160 M05；	
N170 M00；	程序暂停
N180 T0202；	调用内圆车刀
N190 M03 S300；	

（续）

程　　序	说　　明
N200 G99 G00 X13.0 Z3.0；	
N210 G71 U0.6 R0.5；	粗车左端内轮廓
N220 G71 P230 Q290 U-0.5 W0 F0.15；	
N230 G41 G00 X32.0 S400；	
N240 G01 Z1.0 F0.08；	
N250 X26.0 Z-2.0；	
N260 Z-5.0；	
N270 X18.0 Z-8.0；	
N280 X15.0；	
N290 G40 X13.0；	
N300 G70 P230 Q290；	精车左端内轮廓
N310 G00 Z100.0；	刀具退至换刀点
N320 X100.0；	
N330 M30；	程序结束

表 2-61　数控加工参考程序（右端外轮廓）

程　　序	说　　明
O1802；	主程序名（右端外轮廓）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X52.0 Z3.0；	
N040 G73 U10.0 W0 R8；	粗车右端外轮廓
N050 G73 P60 Q160 U0.5 W0 F0.15；	
N060 G00 G42 X24.0 S800；	
N070 G01 Z1.0 F0.1；	
N080 X29.85 Z-2.0；	
N090 Z-27.0；	
N100 X32.187；	
N110 G03 X35.2 Z-55.2 R22.0；	
N120 G02 X37.429 Z-72.098 R13.0；	
N130 G03 X42.0 Z-77.697 R8.0；	
N140 G01 Z-81.0；	
N150 X50.0；	
N160 G40 X52.0；	
N170 G70 P60 Q160；	精车右端外轮廓
N180 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N190 Z100.0；	
N200 M30；	程序结束

表 2-62 数控加工参考程序（退刀槽及螺纹）

程　　序	说　　明
O1803；	主程序名（退刀槽及螺纹）
N010 T0303；	调用切槽刀
N020 M03 S300；	
N030 G00 G99 X35.0 Z-27.0；	加工退刀槽
N040 G01 X26.1 F0.1；	
N050 X32.0；	
N060 Z-26.0；	
N070 X26.0；	
N080 Z-27.0；	
N090 X32.0；	
N100 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N110 Z100.0；	
N120 M05；	
N130 M00；	程序暂停
N140 T0404；	调用外螺纹刀
N150 M03 S500；	
N160 G00 G99 X35.0 Z4.0；	
N170 G92 X29.1 Z-24.0 F2.0；	加工螺纹
N180 X28.5；	
N190 X27.9；	
N200 X27.5；	
N210 X27.4；	
N220 X27.4；	
N230 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N240 Z100.0；	
N250 M30；	程序结束

2.7.3 实例 19——综合类零件编程加工（三）

1. 零件工艺分析

图 2-22 综合零件的左端由外圆面、内圆面、矩形槽组成，右端由圆弧面、圆锥面、退刀槽及螺纹组成，采用两次装夹调头加工。工件用自定心卡盘装夹，先加工左端外形及内孔，调头后用划针盘找正，再加工右端轮廓及螺纹。根据工件坐标系建立原则，两次装夹加工时都将工件坐标系原点设定在其装夹后的工件右端面轴线上。

零件右端外圆锥面与圆弧面相切，该处的基点坐标需要通过计算得出，计算量较大，利用 CAD 给出基点坐标 *A*（33.1，–50.498）、*B*（43.05，–55.0），其他的基点坐标可以根据尺寸直接计算出来。

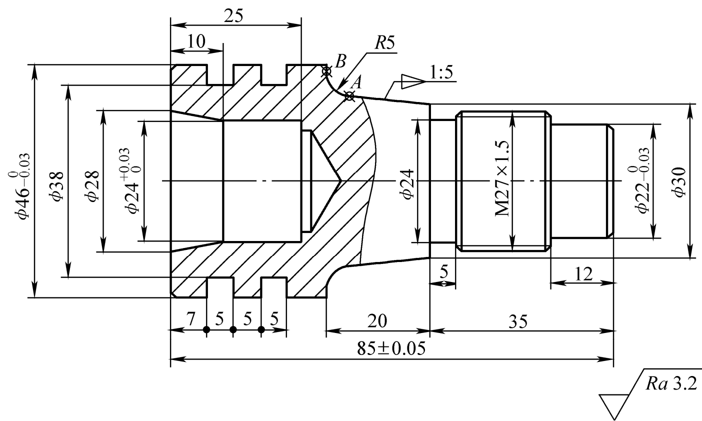


图 2-22 实例 19 零件图

2. 刀具与切削用量选择

该零件需要加工外圆面、内轮廓面、圆弧面、外圆锥面、退刀槽及外螺纹。根据加工要求，选用的刀具见表 2-63。

表 2-63 刀具选择

序号	刀具号	刀具类型	规格	数量	用途
1	—	中心钻	ϕ3mm	1	钻中心孔（手动）
2	—	麻花钻	ϕ15mm	1	钻内孔（手动）
3	T01	外圆车刀	93°	1	车端面、粗精车外轮廓
4	T02	内孔车刀	93°	1	粗精车内孔
5	T03	切槽刀	宽 4mm	1	加工矩形槽及螺纹退刀槽
6	T04	外螺纹刀	60°	1	车削外螺纹

零件加工材料为 45 钢，硬度较高，切削力较大，切削速度应选择低些。根据加工要求，切削用量的选择见表 2-64。

表 2-64 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	钻中心孔	—	800	0.15	1.5
2	钻内孔	—	300	0.15	7.5
3	车左端面	T01	500	0.2	1～2
4	车削左端外轮廓	T01	800	0.1	1～2
5	加工左端矩形槽	T03	300	0.1	4
6	粗车内轮廓，留 0.5mm 精车余量	T02	300	0.15	1
7	精车内轮廓	T02	400	0.08	0.25
8	调头，车削右端面，保证总长	T01	500	0.2	1～2
9	粗车右端外轮廓，留 0.5mm 精车余量	T01	500	0.15	1～2
10	精车右端外轮廓	T01	800	0.1	0.25
11	加工螺纹退刀槽	T03	300	0.1	4
12	车削外螺纹	T04	500	2.0	—

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 2-65～表 2-67。

表 2-65 数控加工参考程序（左端）

程 序	说 明
O1901；	主程序名（左端）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X52.0 Z3.0；	
N040 G90 X46.5 Z-35.0 F0.2；	车削左端外轮廓
N050 G00 X42.0 S800；	
N060 G01 Z1.0 F0.1；	
N070 X46.0 Z-1.0；	
N080 Z-35.0；	
N090 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N100 Z100.0；	
N110 M05；	
N120 M00；	程序暂停
N130 T0303；	调用切槽刀
N140 M03 S400；	
N150 G00 G99 X52.0 Z-11.0；	加工矩形槽
N160 G01 X38.1 F0.1；	
N170 X48.0；	
N180 G91 X38.0 Z-12.0；	
N190 G00 Z-21.0；	
N200 G01 X38.1 F0.1；	
N210 X48.0；	
N220 G91 X38.0 Z-22.0；	
N230 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N240 Z100.0；	
N250 M05；	
N260 M00；	程序暂停
N270 T0303；	调用内孔车刀
N280 M03 S300；	
N290 G99 G00 X18.0 Z3.0；	
N300 G71 U0.6 R0.5；	粗车左端内轮廓
N310 G71 P320 Q370 U-0.5 W0 F0.15；	
N320 G41 G00 X28.0 S400；	
N330 G01 Z1.0 F0.08；	
N340 X24.0 Z-10.0；	
N350 Z-25.0；	
N360 X20.0；	
N370 G40 X18.0；	
N380 G70 P320 Q370；	精车左端内轮廓
N390 G00 Z100.0；	刀具退至换刀点
N400 X100.0；	
N410 M30；	程序结束

表 2-66　数控加工参考程序（右端外轮廓）

程　　序	说　　明
O1902；	主程序名（右端外轮廓）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X52.0 Z3.0；	
N040 G71 U1.5 R0.5；	粗车右端外轮廓
N050 G71 P60 Q160 U0.5 W0 F0.2；	
N060 G00 G42 X18.0 S800；	
N070 G01 Z1.0 F0.1；	
N080 X22.0 Z-1.0；	
N090 Z-12.0；	
N100 X26.85 C-1.0；	
N110 Z-35.0；	
N120 X30.0；	
N130 X33.1 Z-50.498；	
N140 G02 X43.05 Z-55.0 R5.0；	
N150 G01 X48.0；	
N160 G40 X52.0；	
N170 G70 P60 Q160；	精车右端外轮廓
N180 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N190 Z100.0；	
N200 M30；	程序结束

表 2-67　数控加工参考程序（退刀槽及螺纹）

程　　序	说　　明
O1903；	主程序名（退刀槽及螺纹）
N010 T0303；	调用切槽刀
N020 M03 S300；	
N030 G00 G99 X30.0 Z-35.0；	加工退刀槽
N040 G01 X24.1 F0.1；	
N050 X30.0；	
N060 Z-33.0；	
N070 X27.0；	
N080 W-1.0 U-2.0；	
N090 X24.0；	
N100 Z-35.0；	
N110 X30.0；	
N120 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N130 Z100.0；	
N140 M05；	
N150 M00；	程序暂停

（续）

程　　序	说　　明
N160 T0404；	调用外螺纹刀
N170 M03 S500；	
N180 G00 G99 X30.0 Z-8.0；	
N190 G92 X26.2 Z-32.5 F1.5；	加工螺纹
N200 X25.6；	
N210 X25.2；	
N220 X25.05；	
N230 X25.05；	
N240 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N250 Z100.0；	
N260 M30；	程序结束

2.7.4　实例 20——综合类零件编程加工（四）

1. 零件工艺分析

如图 2-23 所示椭圆轴零件由外圆柱面、外圆锥面、外沟槽、外椭圆面组成，尺寸精度和表面精度要求较高，尺寸最高精度公差为 0.02mm，表面粗糙度值最小为 *Ra*1.6μm，无几何公差要求；零件的典型特征是有一个椭圆面与三个环形槽，总长为 97mm，径向尺寸多在 30mm 以上，刚度较高；所以采用自定心卡盘夹紧，中间需要调头装夹。根据工件坐标系建立原则，两次装夹加工时都将工件坐标系原点设定在其装夹后的工件右端面轴线上。

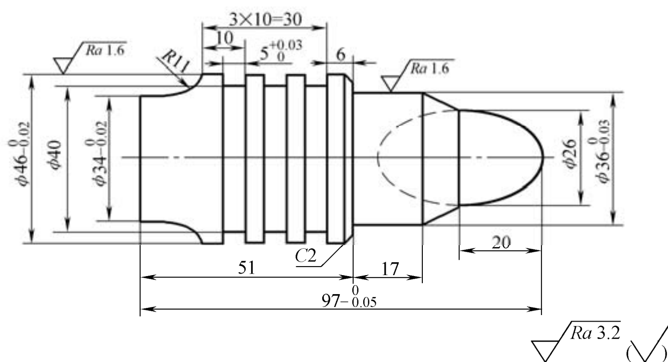


图 2-23　实例 20 零件图

2. 刀具与切削用量选择

依据零件加工内容，选用外圆车刀、切槽刀。数控刀具选择见表 2-68。

表 2-68　刀具选择

序　　号	刀　具　号	刀 具 名 称	规　　格	数　　量	用　　途
1	T01	外圆车刀	95°	1	车端面、粗精车外轮廓
2	T02	切槽刀	宽 3 mm	1	切外沟槽

毛坯为ϕ50 mm×100mm 的棒料，零件加工材料为 45 钢，硬度较高，切削力较大，切削速度应选择低些。根据加工要求，切削用量的选择见表 2-69。

表 2-69 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	车端面，粗加工右端	T01	800	0.15	2
2	精加工右端	T01	1000	0.08	0.5
3	调头，夹持ϕ36mm 外圆，粗加工左端外圆	T01	800	0.15	2
4	精加工左端外圆	T01	1000	0.08	0.5
5	切槽	T02	500	0.05	3

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 2-70、表 2-71。

表 2-70 数控加工参考程序（右端）

程 序	说 明
O2001；	主程序名（右端）
N010 M03 S800；	
N020 T0101；	调用外圆车刀
N030 G00 X52.0 Z5.0；	
N040 G71 U1.0 R1.0；	粗车外圆
N050 G71 P60 Q190 U0.5 W0.5 F0.15；	
N060 G01 X0 F0.08 S1000；	精加工路线
N070 #1=0；	
N080 WHILE [#1 LT 90] DO1；	椭圆循环
N090 #2=20*COS[#1] ；	
N100 #3=2*13*SIN[#1] ；	
N110 G01 X#3 Z[#2-20] ；	
N120 #1=#1+1；	
N130 END1；	
N140 G01 X36.0 Z-29.0；	
N150 Z-46.0；	
N160 X42.0；	
N170 X46.0 Z-48.0；	
N180 Z-55.0；	
N190 X55.0；	
N200 G70 P60 Q190；	精车外圆
N210 G00 X100.0 Z100.0；	
N220 M30；	程序结束

表 2-71 数控加工参考程序（左端）

程　　序	说　　明
O2002；	主程序名（左端）
N010 M03 S600；	
N020 T0101；	
N030 G00 X52.0 Z5.0；	
N040 G71 U1.5 R1.0；	粗车左端外圆
N050 G71 P60 Q100 U0.5 W0.5 F0.15；	
N060 G01 X34.0 F0.08 S1000；	
N070 G01 Z-4.0；	
N080 G02 X46.0 Z-15.0 R11.0；	
N090 G01 Z-45.0；	
N100 G01 X52.0；	
N110 G70 P60 Q100；	精车左端外圆
N120 G00 X50.0 Z100.0；	
N130 S500；	
N140 T0202；	调用切槽刀
N150 G00 X50.0 Z-23.0；	
N160 M98 P30008；	调用切槽子程序
N170 G00 X100.0 Z100.0；	
N180 M30；	程序结束
O0008；	子程序名（切槽）
N010 G01 X40.0 F0.05；	
N020 G04 X2.0；	
N030 G00 X50.0；	
N040 W-2.0；	
N050 G01 X40.0；	
N060 G04 X2.0；	
N070 G00 X50.0；	
N080 W-10.0；	
N090 M99；	子程序结束

2.8 配合类零件编程加工（2 例）

2.8.1 实例 21——配合类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

根据图 2-24，该配合为两件圆柱阶梯配合，单个零件都比较简单，难点在于保证配合之后的配合间隙（1±0.05）mm 与总长（50±0.1）mm。

毛坯为ϕ40mm×90mm 圆棒料，加工零件时，先加工件 2，然后加工件 1。加工件 2 时，编程零点设置在零件左端面的轴心线上，加工左端，然后切断，调头手动加工右端面并保证总长 29mm。加工件 1 时，编程零点设置在零件右端面的轴心线上，加工右端，然后调

头手动加工左端面并保证总长（50±0.1）mm。

在加工完成件 1 后，将件 2 配合到件 1 中用塞尺测量配合间隙，若间隙大，读装配图，找到限位平面，车削ϕ32mm 的右端面；若间隙小，车削ϕ38mm 的右端面。

件 2 加工工艺：

1）下料，毛坯为ϕ40×90mm。

2）用自定心卡盘夹持毛坯，伸出约 50mm，手动钻孔（ϕ20mm×37mm）。

3）手动车削端面，粗精车零件外圆ϕ38mm 至尺寸要求。

4）粗、精加工内孔至尺寸要求。

5）切断工件，并保证长度 29.5mm。

6）调头垫上铜皮，夹持ϕ38mm 外圆，手动车端面、倒角，并保证总长（29±0.05）mm。

件 1 加工工艺：

1）夹持零件毛坯，伸出卡盘长度 30mm，加工左端面。

2）车削ϕ38mm 外圆面，车削长度为 25mm。

3）调头装夹工件，垫上铜皮夹持ϕ38mm 圆柱面，车削端面，保证总长。

4）粗、精加工零件右端轮廓至尺寸要求（用件 2 试配，保证配合间隙（1±0.05）mm 和配合长度（50±0.1）mm）。

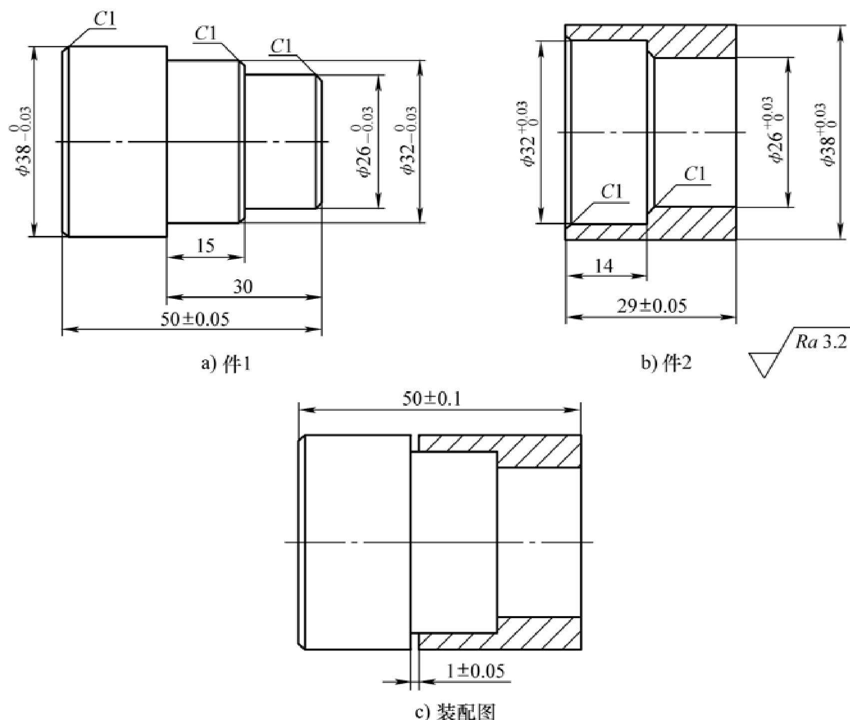


图 2-24 实例 21 零件图与装配图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，刀具及切削用量的选择见表 2-72、表 2-73。

表 2-72 件 2 刀具及切削用量选择

序号	刀具号	刀具类型及规格	加工内容	切削用量		
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/r）	背吃刀量/mm
1		中心钻ϕ3mm	钻中心孔（手动）	800	0.15	1.5
2		麻花钻ϕ20mm	钻内孔（手动）	300	0.15	10
3	T01	外圆刀 93°	车端面、粗精车外轮廓	粗加工 500 精加工 800	粗加工 0.2 精加工 0.1	粗加工 1～2 精加工 0.25
4	T02	内孔车刀 93°	粗精车内孔	粗加工 300 精加工 400	粗加工 0.1 精加工 0.08	粗加工 0.6～1 精加工 0.25
5	T03	切断刀 4.5mm	切断（手动）	400	0.1	4.5

表 2-73 件 1 刀具及切削用量选择

序号	刀具号	刀具类型及规格	加工内容	切削用量		
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/r）	背吃刀量/mm
1	T01	外圆刀 93°	车端面、粗精车外轮廓	粗加工 500 精加工 800	粗加工 0.2 精加工 0.1	粗加工 1～2 精加工 0.25
2	T03	切断刀 4.5mm	端面（手动修配）	400	0.1	4.5

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 2-74、表 2-75。加工件 1 左端ϕ38mm 外圆程序省略。

表 2-74 件 2 数控加工参考程序

程 序	说 明
O2101；	主程序名（件 2）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X42.0 Z2.0；	
N040 G90 X38.5 Z-35.0 F0.2；	车削外轮廓
N050 X38.0 Z-35.0 F0.1；	
N060 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N070 Z100.0；	
N080 M05；	
N090 M00；	程序暂停
N100 T0202；	调用内孔车刀
N110 M03 S300；	
N120 G99 G00 X18.0 Z2.0；	
N130 G71 U0.6 R0.5；	粗车内孔
N140 G71 P150 Q210 U-0.5 W0 F0.1；	
N150 G00 X36.0 S400；	
N160 G01 Z1.0 F0.08；	
N170 X32.0 Z-1.0；	
N180 Z-15.0；	
N190 X26.0 C1.0；	
N200 Z-31.0；	
N210 X18.0；	
N220 G70 P150 Q210；	精车内孔
N230 G00 Z100.0；	刀具退至换刀点
N240 X100.0；	
N250 M30；	程序结束

表 2-75 件 1 数控加工参考程序

程　序	说　明
O2102；	主程序名（件 1 右端轮廓）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X42.0 Z3.0；	
N040 G71 U1.5 R0.5；	粗车右端外轮廓
N050 G71 P60 Q120 U0.5 W0 F0.2；	
N060 G00 X22.0 S800；	
N070 G01 Z1.0 F0.1；	
N080 X26.0 Z-1.0；	
N090 Z-15.0；	
N100 X32.0 C-1.0；	
N110 Z-30.0；	
N120 X40.0；	
N130 G70 P60 Q120；	精车右端外轮廓
N140 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N150 Z100.0；	
N160 M30；	程序结束

2.8.2 实例 22——配合类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

根据图 2-25，该配合类型为螺纹及圆锥、圆弧配合，件 1 左端圆锥面为配合面，右端螺纹为配合螺纹，件 2 为内螺纹与内圆锥面，分别与件 1 的右端和左端配合。为保证圆锥面的正确配合，内外圆锥面在精加工的过程中应该采用刀尖圆弧半径补偿进行编程和加工。

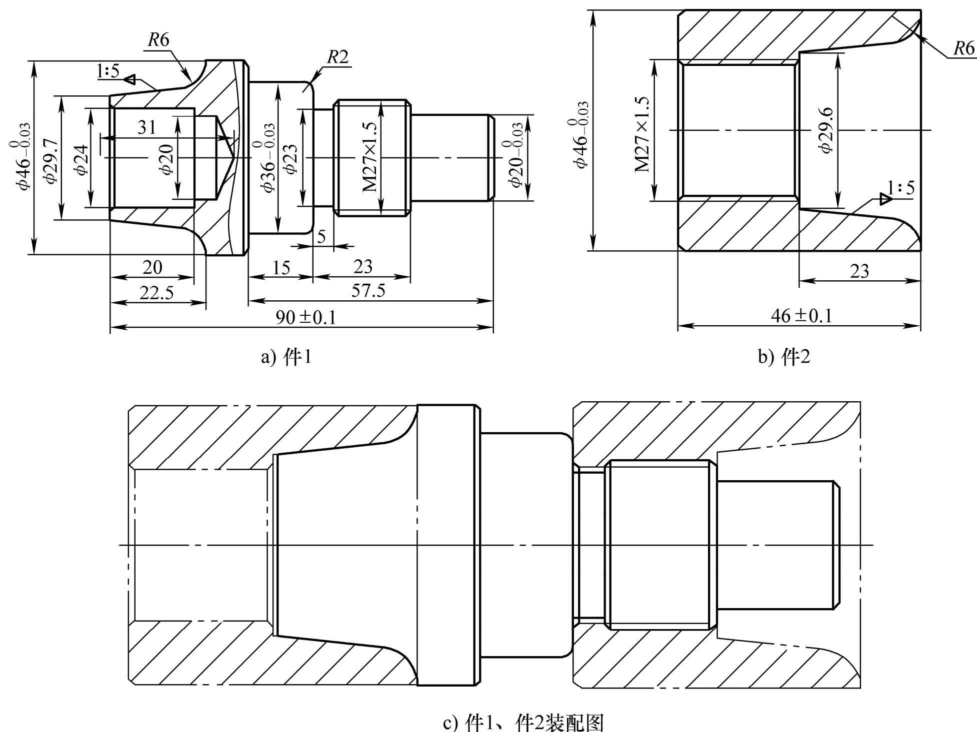


图 2-25 实例 22 零件图与装配图

件 2 为内孔加工，因此加工零件时，先加工件 2，加工件 1 时用件 2 试配。加工件 2 右端时，编程零点设置在零件右端面的轴心线上，切断后加工左端面并保证总长（46±0.1）mm，然后加工 M27×1.5 的内螺纹。加工件 1 右端时，编程零点设置在零件右端面的轴心线上，加工右端轮廓及螺纹。工件调头，使用加工孔的一端，手动加工左端面，保证总长（90±0.1）mm，手动钻孔。然后加工左端外轮廓面及内轮廓面。

件 1 中，圆锥面与圆弧的切点，通过计算机绘图可以查出其基点坐标为（33.119，–17.097），圆弧与垂直线的切点坐标为（45.06，–22.5）。

件 2 中，圆锥面与圆弧的切点，通过计算机绘图可以查出其基点坐标为（33.119，–5.403），圆弧与垂直线的切点坐标为（45.06，0）。

加工完件 1 右端螺纹后，将件 2 试配合；加工完件 1 左端圆锥面后，用件 2 试配合，并调整间隙。

件 2 加工工艺：

1）下料，毛坯为ϕ50 mm×150mm。

2）用自定心卡盘夹持毛坯，伸出约 55mm，手动钻孔（ϕ20 mm×55mm）。

3）手动车削端面，粗、精车零件外圆ϕ46mm 至尺寸要求。

4）粗、精加工内轮廓至尺寸要求。

5）切断工件，并保证长度 46.5mm。

6）调头夹持ϕ46 mm 外圆，手动车端面、倒角，并保证总长（46±0.1）mm。

7）加工内螺纹至尺寸要求。

件 1 加工工艺：

1）夹持毛坯零件切断端，伸出卡盘长度 70mm，加工右端面。

2）粗、精加工右端轮廓至尺寸要求。

3）切槽至尺寸要求。

4）加工外螺纹至尺寸要求（用件 2 试配，保证螺纹配合）。

5）调头装夹工件，垫上铜皮夹持ϕ36 mm 外圆，手动车削端面，保证总长（90±0.1）mm。

6）手动钻孔，孔深 30mm。

7）粗、精加工零件左端内轮廓至尺寸要求。

8）粗、精加工零件左端外轮廓至尺寸要求（用件 2 试配，保证圆锥面、圆弧面配合）。

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，刀具及切削用量的选择见表 2-76、表 2-77。

表 2-76 件 2 刀具及切削用量选择

序号	刀具号	刀具类型及规格	加工内容	切削用量		
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/r）	背吃刀量/mm
1	—	中心钻ϕ3mm	钻中心孔（手动）	800	0.15	1.5
2	—	麻花钻ϕ20mm	钻内孔（手动）	300	0.15	10
3	T01	外圆刀 93°	车端面、粗精车外轮廓	粗加工 500 精加工 800	粗加工 0.2 精加工 0.1	粗加工 1～2 精加工 0.25
4	T02	内孔车刀 93°	粗精车内孔	粗加工 300 精加工 400	粗加工 0.1 精加工 0.08	粗加工 0.6～1 精加工 0.25
5	T03	切断刀 4.0mm	切断（手动）	400	0.1	4
6	T04	内螺纹刀	车内螺纹	400	1.5	—

表 2-77　件 1 刀具及切削用量选择

序号	刀具号	刀具类型及规格	加工内容	切削用量		
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/r）	背吃刀量/mm
1	—	中心钻ϕ3mm	钻中心孔（手动）	800	0.15	1.5
2	—	麻花钻ϕ20mm	钻内孔（手动）	300	0.15	10
3	T01	外圆刀 93°	车端面、粗精车外轮廓	粗加工 500 精加工 800	粗加工 0.2 精加工 0.1	粗加工 1～2 精加工 0.25
4	T02	内孔车刀 93°	粗精车内孔	粗加工 300 精加工 400	粗加工 0.1 精加工 0.08	粗加工 0.6～1 精加工 0.25
5	T03	切槽刀 4.0mm	切槽	400	0.1	4
6	T04	外螺纹刀 60°	车外螺纹	500	1.5	—

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 2-78～表 2-83。

表 2-78　件 2 数控加工参考程序（外圆及内轮廓）

程　　序	说　　明
O2201；	主程序名（外圆及内轮廓）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X52.0 Z2.0；	
N040 G90 X48.0 Z-50.0 F0.2；	车削外轮廓
N050 X46.5；	
N060 X46.0 F0.1 S800；	
N070 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N080 Z100.0；	
N090 T0202；	调用内孔车刀
N100 M03 S300；	
N110 G99 G00 X18.0 Z2.0；	
N120 G71 U0.6 R0.5；	粗车内轮廓
N130 G71 P140 Q220 U-0.5 W0 F0.1；	
N140 G41 G00 X47.0 S400；	
N150 G01 Z0 F0.08；	
N160 X46.06；	
N170 G02 X33.119 Z-5.403 R6.0；	
N180 G01 X29.6 Z-23.0；	
N170 X28.58；	
N200 X25.58 Z-24.0；	
N210 Z-50.0；	
N220 G40 X18.0；	
N230 G70 P140 Q220；	精车内孔
N240 G00 Z100.0；	刀具退至换刀点
N250 X100.0；	
N260 M30；	程序结束

表 2-79 件 2 数控加工参考程序（内螺纹）

程　　序	说　　明
O2202；	主程序名（内螺纹）
N010 T0404；	调用内螺纹刀
N020 M03 S400；	
N030 G00 G99 X22.0 Z4.5；	
N040 G92 X26.2 Z-25.0 F1.5；	车内螺纹
N050 X26.7；	
N060 X27.0；	
N070 X27.01；	
N080 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N090 Z100.0；	
N100 M30；	程序结束

表 2-80 件 1 数控加工参考程序（右端外轮廓）

程　　序	说　　明
O2203；	主程序名（右端外轮廓）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X50.0 Z2.0；	
N040 G71 U1.5 R0.5；	粗车外轮廓
N050 G71 P60 Q180 U0.5 W0 F0.2；	
N060 G42 G00 X13.0 S800；	
N070 G01 X20.0 Z-1.5 F0.1；	
N080 Z-19.5；	
N090 X24.0；	
N100 X26.8 Z-21.0；	
N110 Z-32.5；	
N120 X32.0；	
N130 G03 X36.0 Z-34.5 R2.0；	
N140 G01 Z-57.5；	
N150 X43.0；	
N160 X46.0 Z-59.0；	
N170 Z-69.0；	
N180 G40 X50.0；	
N190 G70 P60 Q180；	精车外轮廓
N200 G00 Z100.0；	刀具退至换刀点
N210 X100.0；	
N220 M30；	程序结束

表 2-81　件 1 数控加工参考程序（退刀槽及螺纹）

程　　序	说　　明
O2204；	主程序名（退刀槽及螺纹）
N010 T0303；	调用切槽刀
N020 M03 S400；	
N030 G00 G99 X38.0 Z-32.5；	加工退刀槽
N040 G01 X23.1 F0.1；	
N050 X27.5；	
N060 Z-30.0；	
N070 X27.0；	
N080 X24.0 Z-31.5；	
N090 X23.0；	
N100 Z-32.5；	
N110 X38.0；	
N120 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N130 Z100.0；	
N140 M05；	
N150 T0404；	调用外螺纹车刀
N160 M03 S500；	
N170 G00 G99 X30.0 Z-16.0；	
N180 G92 X26.2 Z-30.0 F1.5；	加工螺纹
N190 X25.6；	
N200 X25.2；	
N210 X25.04；	
N220 X25.04；	
N230 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N240 Z100.0；	
N250 M30；	程序结束

表 2-82　件 1 数控加工参考程序（左端内轮廓）

程　　序	说　　明
O2205；	主程序名（左端内轮廓）
N010 T0202；	调用内孔车刀
N020 M03 S300；	
N030 G99 G00 X18.0 Z2.0；	
N040 G71 U0.6 R0.5；	粗车内轮廓
N050 G71 P60 Q90 U-0.5 W0 F0.1；	
N060 G00 X31.0 S400；	
N070 G01 X24.0 Z-1.5 F0.08；	
N080 Z-20.0；	
N090 X18.0；	
N100 G70 P60 Q90；	精车内孔
N110 G00 Z100.0；	刀具退至换刀点
N120 X100.0；	
N130 M30；	程序结束

表 2-83 件 1 数控加工参考程序（左端外轮廓）

程 序	说 明
O2206；	主程序名（左端外轮廓）
N010 T0101；	调用外圆车刀
N020 M03 S500；	
N030 G00 G99 X52.0 Z2.0；	
N040 G71 U1.5 R0.5；	粗车外轮廓
N050 G71 P60 Q100 U0.5 W0 F0.2；	
N060 G42 G00 X29.1 S800；	
N070 G01 X33.119 Z-17.097 F0.1；	
N080 G02 X45.06 Z-22.5 R6.0；	
N090 G01 X50.0；	
N100 G40 X52.0；	
N110 G70 P60 Q100；	精车外轮廓
N120 G00 X100.0；	刀具退至换刀点
N130 Z100.0；	
N140 M30；	程序结束

第 3 章

SIEMENS 数控车床编程实例

3.1　阶梯轴类零件编程加工（4 例）

3.1.1　实例 23——阶梯轴类零件编程加工（一）

1．零件工艺分析

本例是在掌握基本编程指令的基础上，对简单工件（图 3-1）进行的单步编程自动加工。工件装夹在自定心卡盘中，工件坐标系设置在工件右端面轴线上。零件的粗加工采取分层切削，精加工沿着零件轮廓连续进给。

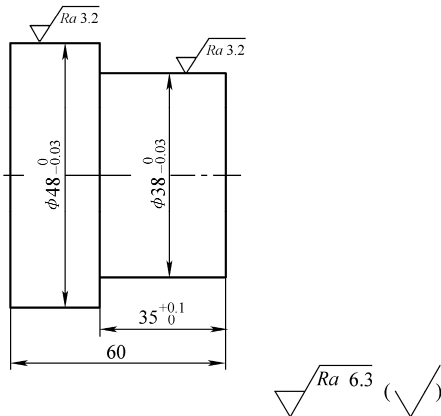


图 3-1　实例 23 零件图

2．刀具与切削用量选择

零件有两个圆柱面和三个端面需要加工，选择 1 号刀为 95° 外圆车刀。

零件毛坯为 ϕ50mm×100mm 的棒料，材料为 45 钢，根据加工要求，切削用量的选择见表 3-1。

表 3-1　切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	粗加工外轮廓，留 0.3mm 精车余量	T1	700	0.2	2
2	精加工外轮廓	T1	1000	0.1	0.3

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 3-2。

表 3-2 数控加工参考程序

程　　序	说　　明
SK2301.MPF	主程序名
N10 G54 G90 M03 S700 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N20 G00 X50 Z2	
N30 G00 X48.6 Z2	
N40 G01 Z-64 F0.2	粗加工外圆至ϕ48mm
N50 G00 X50 Z-63	
N60 Z2	
N70 X44	
N80 G01 Z-34.7	粗加工外圆至ϕ44mm
N90 G00 X46 Z-33	
N100 Z2	
N110 X40	
N120 G01 Z-34.7	粗加工外圆至ϕ40mm
N130 G00 X42 Z-34	
N140 Z2	
N150 X38.6	
N160 G01 Z-34.7	粗加工外圆至ϕ38.3mm
N170 G00 X40 Z-34	
N180 Z2	
N190 G00 X100 Z200	
N200 M03 S1000	
N210 G00 X38 Z2	
N220 G01 Z-35.05 F0.1	精加工ϕ38mm 外圆
N230 X48	精加工环形端面
N240 Z-64	精加工ϕ48mm 外圆
N250 X50	精加工环形端面
N260 G00 X100 Z200	
N270 M05	
N280 M30	程序结束

3.1.2 实例 24—— 阶梯轴类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

圆锥面、倒角和直槽是车削加工中常见的加工类型。图 3-2 所示零件中，有两个圆柱面、一个圆锥面和一个直槽需要加工。在数控车床上采用直线插补指令 G01 来编程加工圆锥面和直槽，倒角可以采用 CHF 指令编程加工，如果系统不支持 CHF 指令，可以把倒角看做一个小圆锥面来对待。

工件装夹在自定心卡盘中，工件坐标系设置在工件右端面轴线上。零件的粗加工采取分层切削，精加工沿着零件轮廓连续进给。

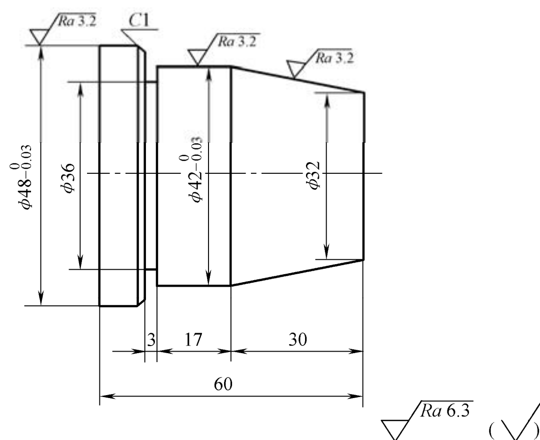


图 3-2　实例 24 零件图

2. 刀具与切削用量选择

车端面、粗精车外轮廓选择 93°外圆车刀，直槽加工选择宽 3mm 切槽刀。

零件毛坯为ϕ50mm×100mm 的棒料，材料为 45 钢，根据加工要求，切削用量的选择见表 3-3。

表 3-3　切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	手动车端面、外圆（对刀）	T1	700	0.2	—
2	粗车外轮廓，留加工余量 0.3mm	T1	700	0.2	2.0
3	精车外轮廓达尺寸要求	T1	1200	0.1	0.3
4	切槽	T2	500	0.15	3
5	切断工件并保证总长	T2	500	0.15	3

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 3-4。

表 3-4　数控加工参考程序

程序	说明
SK2401.MPF	主程序名
N10 M03 S700	
N20 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N30 G00 X48.6 Z2	
N40 G01 Z-64 F0.2	粗加工ϕ48mm 外圆，预留精加工余量 0.6mm
N50 G00 X50 Z-63	
N60 Z2	
N70 X44	
N80 G01 Z-49.7	粗加工外圆至ϕ44mm
N90 G00 X46 Z-33	

（续）

程　　序	说　　明
N100 Z2	
N110 X42.6	
N120 G01 Z-49.7	粗加工外圆ϕ42mm，预留精加工余量 0.6mm
N130 G00 X42 Z-34	
N140 Z2	
N150 X37.334	
N160 G01 X42 Z-12	粗加工外圆锥
N170 G00 Z2	
N180 X33.334	
N190 G01 X42 Z-24	粗加工外圆锥
N200 G00 Z2	
N210 X31.934	
N220 G01 X42.6 Z-28.2	粗加工外圆锥，预留精加工余量 0.3mm
N230 G00 Z2	
N240 G00 X200 Z200	
N250 M05	
N260 M00	程序暂停，对零件进行测量并修改刀具磨损值。
N270 M03 S1200	
N280 T1 D1	重新调用 1 号外圆车刀
N290 G00 X31.334 Z2	快速点定位至切削起点
N300 G01 X42 Z-30 F0.1	精加工外圆锥
N310 Z-50	精加工外圆ϕ42mm
N320 X48 CHF=1	精加工环形端面及 *C*1 mm 倒角
N330 Z-64	精加工ϕ48mm 外圆
N340 X50	精加工环形端面
N350 G00 X200	
N360 Z200	
N370 M05	
N380 M00	
N390 M03 S500	
N400 T2 D1	调用 2 号切槽刀
N410 G00 X50 Z2	
N420 Z-50	至切槽起点
N430 G01 X36 F0.15	径向切槽
N440 X50	
N450 G00 X100 Z100	
N460 M05	
N470 M30	程序结束

3.1.3　实例 25——阶梯轴类零件编程加工（三）

1. 零件工艺分析

该零件（图 3-3）径向尺寸单向增减，可以采用毛坯切削循环进行粗、精加工，最后

切断工件。工件装夹在自定心卡盘中，工件坐标系设置在工件右端面轴线上。

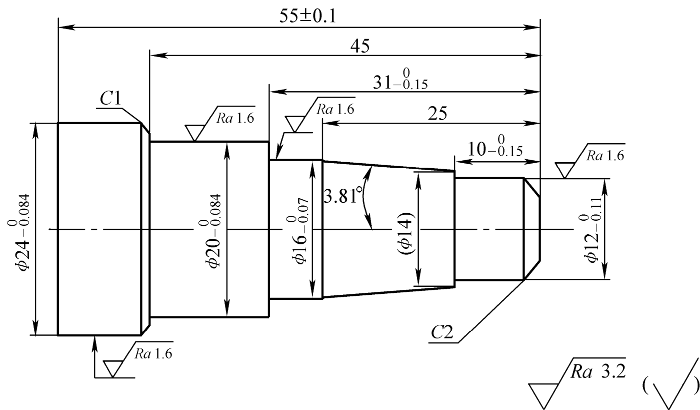


图 3-3 实例 25 零件图

2. 刀具与切削用量选择

端面与外圆加工，选择 1 号刀为 93° 外圆车刀，2 号刀为宽 4mm 的切断刀，共两把刀。

零件毛坯为ϕ30mm×100mm 的棒料，材料为 45 钢，根据加工要求，切削用量的选择见表 3-5。

表 3-5 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/r）	背吃刀量/mm
1	车端面	T1	600	0.2	2
2	粗加工外轮廓，留 0.4mm 精车余量	T1	600	0.2	2
3	精加工外轮廓	T1	800	0.1	0.2
4	切断	T2	400	0.08	4

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 3-6。

表 3-6 数控加工参考程序

程序	说明
SK2501.MPF	主程序名
N10 G54 G90 M03 S600 F0.2	
N20 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N30 G00 X26 Z5	刀具快速移动至循环起点
N40 _CNAME=“L1”	
N50 R105=1 R106=0.4 R108=2 R109=0 R110=1 R111=0.2 R112=0.1	设置循环参数
N60 LCYC95	调用固定循环粗加工
N70 G00 X26 Z5	
N80 M03 S800 F0.1	
N90 L1	调用子程序精加工
N100 G00 X100 Z200	

（续）

程　　序	说　　明
N110 M05	
N120 M00	
N130 T2 D1	调用 2 号切断刀
N140 M03 S400	
N150 G00 X28 Z-59	
N160 G01 X0 F0.08	切断
N170 X28 F0.3	
N180 G00 X100 Z200	
N190 M05	
N200 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（外轮廓）
N10 G01 X0 Z0	
N20 X7.954	
N30 X11.954 Z-2	
N40 Z-9.925	
N50 X14	
N60 X15.965 Z-25	
N70 Z-30.925	
N80 X19.958	
N90 Z-45	
N100 X21.958	
N110 X23.958 Z-46	
N120 Z-59	
N130 X25	
N140 M17	子程序结束

3.1.4　实例 26——阶梯轴类零件编程加工（四）

1. 零件工艺分析

该零件（图 3-4）需要调头加工。零件左右两侧均可以采用毛坯切削循环 LCYC95 编程加工。难点在于零件调头后总长的保证及二次对刀。工件装夹在自定心卡盘中，工件坐标系设置在工件右端面轴线上。

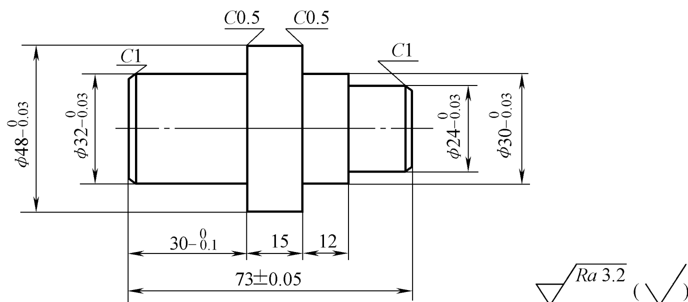


图 3-4　实例 26 零件图

2. 刀具与切削用量选择

车端面、粗精车外轮廓选用 93° 外圆车刀。

零件毛坯为ϕ50mm×70mm 的棒料，材料为 45 钢，根据加工要求，切削用量的选择见表 3-7。

表 3-7 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/r）	背吃刀量/mm
1	手动车端面、外圆（对刀）	T1	700	0.2	—
2	粗车左端外轮廓	T1	700	0.2	2.0
3	精车左端外轮廓达尺寸要求	T1	1200	0.1	0.3
4	调头夹持ϕ32mm 外圆，找正；车端面，保证总长，对刀	T1	700	0.2	—
5	粗车右端外轮廓	T1	700	0.2	2.0
6	精车右端外轮廓达尺寸要求	T1	1200	0.1	0.3

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 3-8、表 3-9。

表 3-8 数控加工参考程序（左端）

程序	说明
SK2601.MPF	主程序名（左端）
N10 M03 S700	
N20 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N30 G00 X50 Z2	
N40 _CNAME=“L1”	轮廓子程序名
N50 R105=1 R106=0.3 R108=2 R109=0 R110=1 R111=0.2 R112=0.1	设置循环参数
N70 LCYC95	调用固定循环粗加工
N80 G00 X200 Z200	
N90 M05	
N100 M00	程序暂停，测量零件并修改刀具磨损值
N110 M03 S1200	
N120 T1 D1	重新调用 1 号刀
N130 G00 X50 Z2	
N140 R105=5	设置循环参数
N150 LCYC95	调用固定循环精加工
N160 G00 X200 Z200	
N170 M05	
N180 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（左端外轮廓）
N10 G00 X28 Z1	快速点定位靠近轮廓起始点
N20 G01 X32 Z-1	直线插补加工倒角 $C1$
N30 Z-30	ϕ32mm 外圆加工
N40 X47	端面加工
N50 X48 Z-30.5	C0.5mm 倒角加工
N60 Z-47	ϕ48mm 外圆加工
N70 X50	径向退刀
N80 M17	子程序结束

表 3-9 数控加工参考程序（右端）

程　　序	说　　明
SK2602.MPF	主程序名（右端）
N10 M03 S700	
N20 T1 D2	调用 1 号外圆车刀
N30 G00 X50 Z2	
N40 _CNAME=“L2”	轮廓子程序名
N50 R105=1 R106=0.3 R108=2 R109=0 R110=1 R111=0.2 R112=0.1	设置循环参数
N60 LCYC95	调用固定循环粗加工
N70 G00 X200 Z200	
N80 M05	
N90 M00	程序暂停，测量零件并修改刀具磨损值
N100 M03 S1200	
N110 T1 D2	重新调用 1 号刀
N120 G00 X50 Z2	
N130 R105=5	设置循环参数
N140 LCYC95	调用固定循环精加工
N150 G00 X200 Z200	
N160 M05	
N170 M30	程序结束
L2.SPF	子程序名（右端外轮廓）
N10 G00 X20 Z1	快速点定位靠近轮廓起始点
N20 G01 X24 Z-1	直线插补加工 *C*1 倒角
N30 Z-16	ϕ24mm 外圆加工
N40 X30	端面加工
N50 Z-28	ϕ30mm 外圆加工
N60 X47	端面加工
N70 X48 Z-28.5	*C*1mm 倒角加工
N80 X50	径向退刀
N90 M17	子程序结束

3.2 成形面类零件编程加工（2 例）

3.2.1 实例 27——成形面类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 3-5 所示零件台阶面单向递增，宜采用一次装夹车削，然后切断。工件右端凸圆弧面采用车锥法车削，工件中间凸圆弧面采用车圆法车削。工件装夹在自定心卡盘中，工件坐标系设置在工件右端面轴线上。

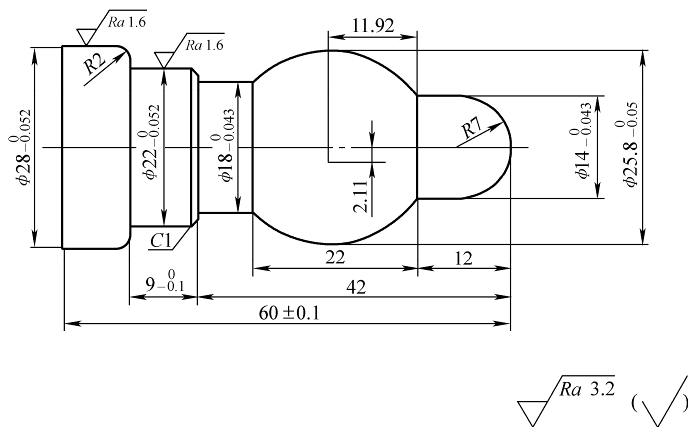


图 3-5　实例 27 零件图

2. 刀具与切削用量选择

由于零件存在台阶，不宜采用尖刀或成形车刀，粗、精加工外圆、圆弧用棱形偏刀。选择 1 号刀为 93° 外圆车刀、2 号刀为宽 4mm 的切断刀。

零件毛坯为φ40mm×100mm 的棒料，材料为 45 钢，根据加工要求，切削用量的选择见表 3-10。

表 3-10　切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	粗加工外轮廓，留 0.4mm 精车余量	T1	600	0.2	2
2	精加工外轮廓	T1	800	0.1	0.2
3	切断	T2	400	0.08	4

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 3-11。

表 3-11　数控加工参考程序

程序	说明
SK2701.MPF	主程序名
N10 G54 G90 M03 S600	
N20 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N30 G00 X25.818 Z2	
N40 G01 Z-12 F0.2	粗加工外轮廓
N50 G03 X28.4 Z-34 I-30.038 K-11.92	粗车圆弧
N60 G01 Z-65	
N70 X32	
N80 G00 Z2	
N90 X22.53	
N100 G01 Z-12	
N110 G03 X25.4 Z-34 I-26.75 K-11.92	粗车圆弧
N120 G01 Z-50.8	
N130 G01 X32	

（续）

程　　序	说　　明
N140 G00 Z2	
N150 X19.166	
N160 G01 Z-12	
N170 G03 X22.4 Z-34 I-23.386 K-11.92	粗车圆弧
N180 G01 Z-50.8	
N190 X32	
N200 G00 Z2	
N210 X14.486	
N220 G01 Z-12	
N230 G03 X18.4 Z-34 I-18.706 K-11.92	粗车圆弧
N240 G01 Z-41.8	
N250 X32	
N260 G00 Z2	
N270 X9.962	
N280 G01 Z0	
N290 X14.4 Z-2.219	粗车圆锥
N300 X16	
N310 G00 Z2	
N320 X5.962	
N330 G01 Z0	
N340 X14 Z-4.219	粗车圆锥
N350 X16	
N360 G00 X100 Z200	刀具退至换刀点
N370 M03 S800 F0.1	精加工外轮廓
N380 G00 X0 Z3	
N390 G01 Z0	
N400 G03 X13.978 Z-7 CR=7	精加工圆弧
N410 G01 Z-12	
N420 G03 X17.978 Z-34 I-18.2 K-11.92	精加工圆弧
N430 G01 Z-41	
N440 X21.974 CHF=1.414	
N450 Z-51	
N460 X27.974 RND=2	
N470 G01 Z-65	
N480 X32	
N490 G00 X100 Z200	刀具退至换刀点
N500 M05	
N510 M00	
N520 T2 D1	调用 2 号切断刀
N530 M03 S400	
N540 G00 X33 Z-64	
N550 G01 X0 F0.08	切断工件
N560 X33 F0.5	
N570 G00 X100 Z200	刀具退至换刀点
N580 M05	
N590 M30	程序结束

3.2.2 实例 28——成形面类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

该零件（图 3-6）径向单向递增，可以采用固定循环粗加工。工件装夹在自定心卡盘中，工件坐标系设置在工件右端面轴线上。

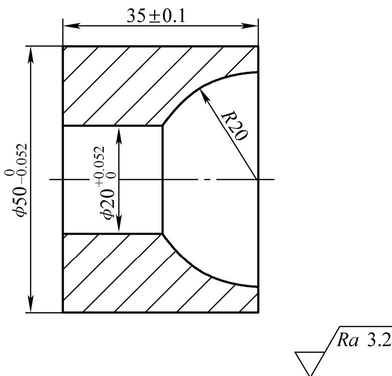


图 3-6 实例 28 零件图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选用 1 号刀为 95° 外圆车刀、2 号刀为 75° 内孔车刀、3 号刀为宽 4mm 的切断刀。其次，选用ϕ3mm 中心钻和ϕ18mm 麻花钻各一把，用于钻中心孔和钻内孔。

零件毛坯为ϕ60mm×80mm 的棒料，材料为 45 钢，切削用量的选择见表 3-12。

表 3-12 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	车端面	T1	500	0.2	1～2
2	粗车外圆，留 0.6mm 精车余量	T1	500	0.2	1～2
3	精加工$\phi50^{0}_{-0.052}$ mm 外圆	T1	700	0.1	0.3
4	钻内孔（手动）	—	400	—	—
5	粗车内圆弧面及内孔，留 0.6mm 精车余量	T2	500	0.15	1.5
6	精车内圆弧面及内孔	T2	700	0.1	0.3
7	切断	T3	300	0.08	4

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 3-13。

表 3-13 数控加工参考程序

程序	说明
SK2801.MPF	主程序名
N10 G54 G90 M03 S500	
N20 T1 D1	调用 1 号外圆车刀

（续）

程　　序	说　　明
N30 G00 X0 Z5	
N40 G01 Z0 F0.2	
N50 X52.8	车右端面
N60 Z−40	粗车ϕ50mm 外圆
N70 X56	
N80 G00 Z5	
N90 X50.6	
N100 G01 Z−40	粗车ϕ50mm 外圆
N110 X56	
N120 G00 Z5	
N130 X49.974 S700	
N140 G01 Z−40 F0.1	精加工外圆
N150 X56	
N160 G00 X100 Z100	
N170 M03 S500	
N180 T2 D2	调用 2 号内孔车刀
N190 G00 X0 Z3	刀具至循环起点
N200 _CNAME=“L1”	轮廓子程序名
N210 R105=3 R106=0.6 R108=1.5 R109=0 R110=1 R111=0.15 R112=0.1	设置循环参数
N220 LCYC95	调用固定循环粗加工
N230 M03 S700	
N240 G00 G41 X40 Z2	建立刀尖半径补偿
N250 G01 Z0 F0.1	
N260 G03 X20.026 Z−17.32 CR=20	
N270 G01 Z−40	精车内孔
N280 X19	
N290 G00 G40 Z10	退刀，取消刀尖半径补偿
N300 G00 X100 Z100	
N310 T3 D1	调用 3 号切断刀
N320 M03 S300	
N330 G00 X59 Z−39	
N340 G01 X15 F0.08	切断
N350 X56 F0.5	
N360 G00 X100 Z100	
N370 M05	
N380 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（内轮廓）
N10 G01 X40 Z0	
N20 G03 X20.026 Z−17.32 CR=20	
N30 G01 Z−40	
N40 X17	
N50 M17	子程序结束

3.3 槽类零件编程加工（2 例）

3.3.1 实例 29——槽类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 3-7 所示零件是在圆柱面上加工若干直槽。槽在轴上的位置均匀，且每个槽的尺寸相同，可以采用调用子程序的方法来编程加工，由于刀具宽度的限制，每个槽至少需要两次切削才能完成。为简化编程，采用子程序嵌套调用的方法来编写加工程序。工件装夹在自定心卡盘中，工件坐标系设置在工件右端面轴线上。

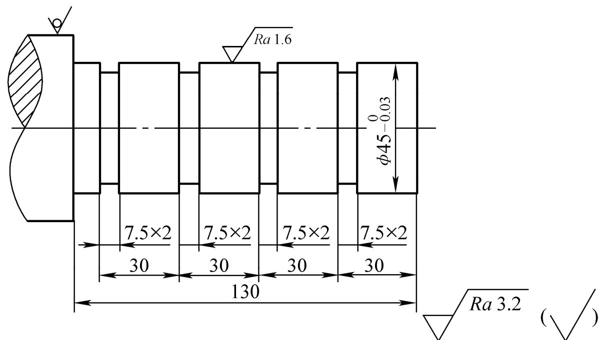


图 3-7 实例 29 零件图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选择 1 号刀为 95° 外圆车刀、2 号刀为宽 4mm 的切槽刀。

零件毛坯为 ϕ50mm×150mm 的棒料，材料为 45 钢，切削用量的选择见表 3-14。

表 3-14 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	车端面（手动）	T1	500	0.2	—
2	粗车外轮廓，留 0.3mm 余量	T1	500	0.2	2
3	精车外轮廓	T1	1000	0.1	0.3
4	加工直槽	T2	500	0.1	4

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 3-15。

表 3-15 数控加工参考程序

程序	说明
SK2901.MPF	主程序名
N10 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N20 M03 S500	
N30 G00 X45.6 Z2	
N40 G01 Z-130 F0.2	粗加工外圆

（续）

程　　序	说　　明
N50 G00 X50	
N60 Z2	
N70 M03 S1000	
N80 X45	
N90 G01 Z−130 F0.1	精加工外圆
N100 X50	
N110 G00 X100 Z200	
N120 T2 D1	调用 2 号切槽刀
N130 M03 S500	
N140 G90 G00 X46 Z0	
N150 L1 P4	调用子程序加工直槽
N160 G90 G00 X100 Z100	
N170 M05	
N180 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名
N10 G91 G00 Z−26.5	
N20 L2	调用子程序切槽
N30 G00 Z−4	
N40 L2	调用子程序切槽
N50 G90	
N60 M17	子程序结束
L2.SPF	子程序名（直槽加工）
N10 G01 X−2.5	切槽
N20 X2.5	
N30 G90	
N40 M17	子程序结束

3.3.2　实例 30——槽类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

图 3-8 所示零件上的凹槽采用切槽循环 LCYC93 编程加工。工件装夹在自定心卡盘中，工件坐标系设置在工件右端面轴线上。

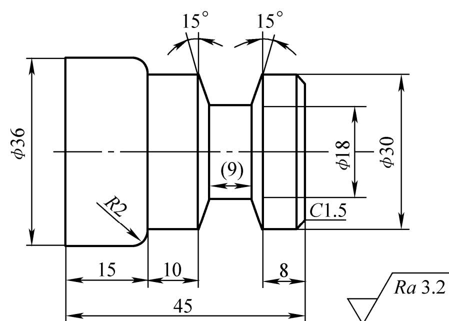


图 3-8　实例 30 零件图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选择 1 号刀为 93°外圆车刀，2 号刀为宽 4mm 的切槽刀。

零件毛坯为ϕ50mm×80mm 的棒料，材料为 45 钢，切削用量的选择见表 3-16。

表 3-16 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	车端面（手动）	T1	500	0.2	—
2	粗车外轮廓，留 0.2mm 余量	T1	500	0.2	2
3	精车外轮廓	T1	800	0.05	0.2
4	切槽	T2	300	0.1	—
5	切断	T2	300	0.05	—

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 3-17。

表 3-17 数控加工参考程序

程序	说明
SK3001.MPF	主程序名
N10 G54 S500 M03 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N20 G00 X30.4 Z2	
N30 G01 Z−29.8 F0.2	粗车外轮廓
N40 X36.4 RND=2	
N50 Z−52	
N60 X40	
N70 G00 X50	
N80 Z2	
N90 X0	
N100 S800 M03	
N110 G01 Z0 F0.05	精车外轮廓
N120 X30 CHF=2.121	
N130 Z−30	
N140 X36 RND=2	
N150 Z−52	
N160 X40	
N170 G00 X100 Z200	
N180 T2 D1 S300 M03	调用 2 号切槽刀
N190 G00 X32	
N200 Z−20	
N210 G95 F0.1	
N220 R100=30 R101=−12 R105=1 R106=0.2 R107=4 R108=2 R114=9 R115=6 R116=15 R117=0 R118=0 R119=1	设定循环参数
N230 LCYC93	调用切槽循环
N240 G00 X40 Z−49	
N250 G01 X0 F0.05	切断
N260 G00 X100 Z200	
N270 M05	
N280 M30	程序结束

3.4 螺纹类零件编程加工（3 例）

3.4.1 实例 31——螺纹类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 3-9 所示零件由一个圆柱ϕ45mm 和倒角 C0.5mm、C2mm 及一个三角形外螺纹 M36×2–6g 组成。可以使用毛坯切削循环 LCYC95 编程对外圆及倒角进行加工，退刀槽 5×2 因宽度较小且精度要求不高，可使用 G00、G01 等指令加工，M36×2–6g 可以使用螺纹切削循环 LCYC97 加工。毛坯长度 80mm，零件实际长度 45mm，在一次装夹中即可将零件加工成形。根据三角形螺纹的精度，计算出外三角形螺纹相关尺寸，工件坐标系设置在工件右端面轴线上。

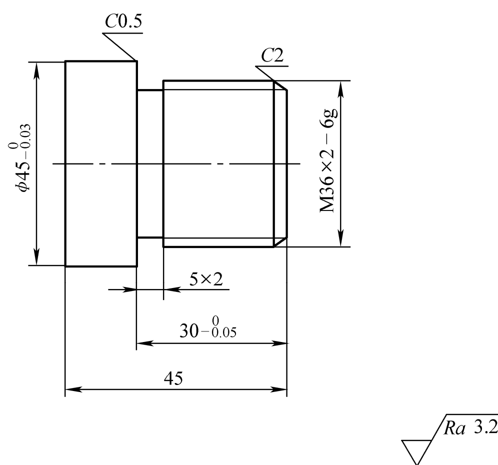


图 3-9　实例 31 零件图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选用 1 号刀为 93°外圆车刀、2 号刀为宽 3mm 的切槽刀、3 号刀为 60°三角形外螺纹刀。

零件毛坯为ϕ60mm×80mm 的棒料，材料为 45 钢，切削用量的选择见表 3-18。

表 3-18　切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	车端面（手动）	T1	500	0.2	1～2
2	粗车外圆，留 0.3mm 精车余量	T1	500	0.2	1～2
3	精加工外轮廓	T1	1000	0.1	0.3
4	切退刀槽	T2	500	0.2	3
5	车外螺纹	T3	600	2	—

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 3-19。

表 3-19 数控加工参考程序

程　　序	说　　明
SK3101.MPF	主程序名
N10 G54 G90 M03 S500	
N20 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N30 G00 X50 Z2	
N40 _CNAME=“L1”	轮廓子程序名
N50 R105=1 R106=0.3 R108=2 R109=0 R110=1 R111=0.2 R112=0.1	设置循环参数
N60 LCYC95	调用固定循环
N70 M03 S1000 F0.1	
N80 G00 X50 Z2	
N90 L1	调用子程序，精加工外轮廓
N100 G00 X100 Z200	
N110 T2 D1	调用 2 号切槽刀
N120 M03 S500	
N130 G00 X38 Z2	
N140 Z-30	
N150 G01 X32 F0.1	切退刀槽
N160 X38	
N170 Z-28	
N180 G01 X32	切退刀槽
N190 X38	
N200 Z200	
N210 T3 D1	
N220 M03 S500	
N230 G00 X36 Z2	
N240 R100=36 R101=0 R102=36 R103=-25 R104=2 R105=1 R106=0.05 R109=2 R110=2 R111=1.3 R112=0 R113=10 R114=1	设置循环参数
N250 LCYC97	调用固定循环加工螺纹
N260 G00 X100 Z200	
N270 M05	
N280 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（外轮廓）
N10 G00 X32 Z1	
N20 G01 Z0	
N30 X35.85 Z-2	加工倒角
N40 Z-30	加工螺纹大径
N50 X44	端面加工
N60 X45 Z-30.5	加工倒角
N70 Z-47	加工外圆
N80 X50	
N90 M17	子程序结束

3.4.2 实例 32——螺纹类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

零件图如图 3-10 所示，工件装夹在自定心卡盘中，两侧的倒角需要调头装夹加工。根据三角形螺纹的精度，计算出内三角形螺纹的相关尺寸。

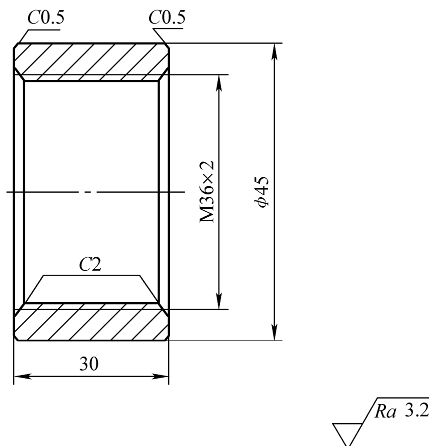


图 3-10 实例 32 零件图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选用 1 号刀为 95° 外圆车刀、2 号刀为镗孔刀、3 号刀为内螺纹刀。其次，选用ϕ20mm 和ϕ32mm 麻花钻各一把，用于钻孔和扩孔。

零件毛坯为ϕ50mm×80 mm 的棒料，材料为 45 钢，切削用量的选择见表 3-20。

表 3-20 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	车端面（手动）	T1	500	0.2	1～2
2	钻孔，扩孔（手动）	—	300	—	—
3	粗车外圆，留 0.3mm 精车余量	T1	500	0.2	2
4	精加工外轮廓	T1	1000	0.1	0.3
5	加工螺纹底孔	T2	500	0.2	1.5
6	调头，车端面，内外倒角（手动）	T1	500	0.2	—
7	车内螺纹	T3	600	2	—

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 3-21、表 3-22。

表 3-21 数控加工参考程序

程序	说明
SK3201.MPF	主程序名
N10 G54 G90 M03 S500	
N20 T1 D1	调用 1 号外圆车刀

（续）

程　　序	说　　明
N30 G00 X47 Z2	
N40 G01 Z-32 F0.2	粗加工外圆至ϕ47mm
N50 G00 X50	
N60 Z2	
N70 X45.6	
N80 G01 Z-32	粗加工外圆，留精加工余量 0.3mm
N90 G00 X46	
N100 Z2	
N110 M03 S1000	
N120 X44	
N130 G01 Z0 F0.1	
N140 X45 Z-0.5	*C*0.5mm 倒角加工
N150 Z-32	加工外圆至ϕ45 mm
N160 G00 X100 Z200	
N170 T2 D1	调用 2 号镗孔刀
N180 M03 S500	
N190 G00 X38 Z1	
N200 G01 X32 Z-2	*C*2mm 内倒角加工
N210 Z-32	
N220 G00 X31	
N230 Z1	
N240 X40	
N250 G01 X34 Z-2	*C*2mm 内倒角加工
N260 Z-32	加工螺纹底孔ϕ34 mm
N270 G00 X33	
N280 Z2	
N290 G00 X100 Z200	
N300 M05	
N310 M30	程序结束

表 3-22　螺纹加工参考程序

程　　序	说　　明
LW01.MPF	主程序名
N10 G54 G90 M03 S500	
N20 T3 D1	调用 3 号内螺纹刀
N30 G00 X36 Z2	
N40 R100=34 R101=0 R102=34 R103=-31 R104=2 R105=2 R106=0.05 R109=2 R110=2 R111=1.08 R112=0 R113=10 R114=1	设置循环参数
N50 LCYC97	调用固定循环加工螺纹
N60 G00 X100 Z200	
N70 M05	
N80 M30	程序结束

3.4.3　实例 33——螺纹类零件编程加工（三）

1. 零件工艺分析

零件图如图 3-11 所示，工件装夹在自定心卡盘中，工件坐标系建立在工件右端面轴线

上。该零件轮廓较简单，先粗、精车外轮廓，再车螺纹退刀槽，最后加工圆锥螺纹。

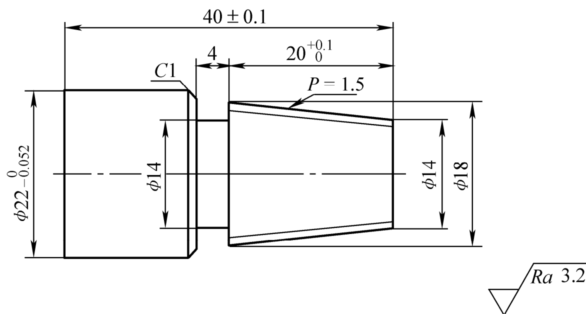


图 3-11　实例 33 零件图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选用 1 号刀为 93°外圆车刀、2 号刀为宽 4mm 的切槽刀、3 号刀为 60°三角形外螺纹刀。

零件毛坯为ϕ30mm×80 mm 的棒料，材料为 45 钢，切削用量的选择见表 3-23。

表 3-23　切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	车端面	T1	600	0.2	1～2
2	粗加工外轮廓，留 0.4mm 精车余量	T1	600	0.2	1～2
3	精加工外轮廓	T1	800	0.1	0.2
4	车螺纹退刀槽	T2	400	0.08	4
5	车圆锥螺纹	T3	400	1.5	0.1～0.4
6	切断	T2	400	0.08	4

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 3-24。

表 3-24　数控加工参考程序

程　　序	说　　明
SK3301.MPF	主程序名
N10 G54 G90 G95 G71	设置初始状态
N20 M03 S600	
N30 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N40 G00 X0 Z5	
N50 G01 Z0 F0.2	
N60 X22.4	
N70 Z-45	
N80 X26	
N90 G00 Z3	
N100 X18.4	
N120 G01 Z-23.6	粗车圆锥螺纹外圆

（续）

程　　序	说　　明
N130 X24	
N140 G00 Z3	
N150 X14.4	
N160 G01 Z0	
N170 G01 X18.4 Z-20	第二次粗车圆锥螺纹外圆
N180 Z-23.6	
N190 X24	
N200 M03 S800 F0.1	
N210 G00 X13.85 Z3	
N220 G01 Z0	
N230 X17.85 Z-20.05	精车外轮廓
N240 Z-24.05	
N250 X21.974 CHF=1.414	
N260 Z-45	
N270 X26	
N280 G00 X100 Z200	
N290 T2 D1	换 2 号切槽刀
N300 G00 X26 Z-24.05	
N310 G01 X14 F0.08	切螺纹退刀槽
N320 G04 F2	
N330 G01 X26 F0.2	
N340 X100 Z200	
N350 T3 D1	换 3 号外螺纹车刀
N360 M03 S400	
N370 G00 X20 Z3	
N380 R100=14 R101=0 R102=18 R103=-20 R104=1.5 R105=1 R106=0.05 R109=3 R110=2 R111=0.975 R112=0 R113=3 R114=1	设置螺纹参数
N390 LCYC97	调用固定循环加工螺纹
N400 G00 X100 Z200	
N410 T2 D1	换 2 号切槽刀
N420 M03 S400	
N430 G00 X29 Z-44	
N440 G01 X0 F0.08	切断
N450 X26 F0.2	
N460 X100 Z200	
N470 M05	
N480 M30	程序结束

3.5　盘套类零件编程加工（3 例）

3.5.1　实例 34——盘套类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

该零件（图 3-12）外轮廓符合毛坯切削循环 LCYC95 的加工类型要求。工件装夹在自定心卡盘中，工件坐标系设置在工件右端面轴线上。

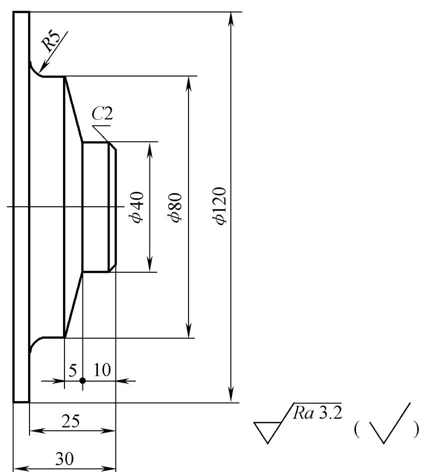


图 3-12 实例 34 零件图

2. 刀具与切削用量选择

使用固定循环加工盘类零件时，刀具主要沿径向切削，选择 1 号外圆车刀为 93° 左偏刀。

零件毛坯为 ϕ130mm×80mm 的棒料，材料为 45 钢，根据加工要求，切削用量的选择见表 3-25。

表 3-25 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/r）	背吃刀量/mm
1	车端面（手动）	T1	600	0.2	—
2	粗车外轮廓	T1	600	0.2	2
3	精车外轮廓	T1	1000	0.1	0.3

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 3-26。

表 3-26 数控加工参考程序

程序	说明
SK3401.MPF	主程序名
N10 G54 G90 M03 S600	
N20 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N30 G00 X130 Z2	
N40 _CNAME=“L1”	轮廓定义子程序
N50 R105=2 R106=0.3 R108=2 R109=0 R110=1 R111=0.2 R112=0.1	设置循环参数
N60 LCYC95	调用固定循环粗加工
N70 G00 X130 Z2	
N80 M03 S1000 F0.1	
N90 L1	调用子程序精加工
N100 G00 X100 Z200	

（续）

程　序	说　明
N110 M05	
N120 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（外轮廓）
N10 G00 X132 Z−31	
N20 G01 X120	
N30 Z−25	外圆加工
N40 X90	环形端面加工
N50 G03 X80 Z−20 CR=5	*R*5mm 圆弧加工
N60 G01 Z−15	外圆加工
N70 X40 Z−10	圆锥加工
N80 Z−1	外圆加工
N90 X38 Z0	倒角加工
N100 Z1	
N110 M17	子程序结束

3.5.2 实例 35——盘套类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

该零件（图 3-13）外轮廓为非加工表面，内轮廓从右至左尺寸单调递减，因此可以用毛坯切削循环 LCYC95 编程进行粗、精加工。工件装夹在自定心卡盘中，工件坐标系设置在工件右端面轴线上。

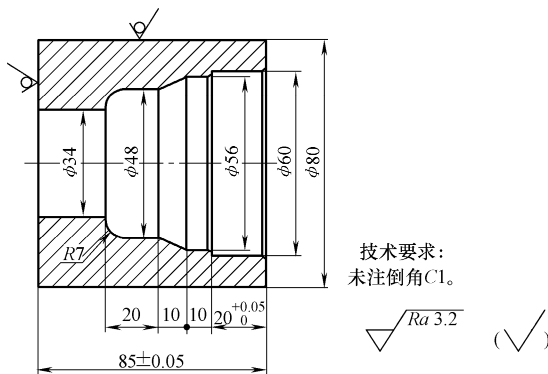


图 3-13　实例 35 零件图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选择 1 号刀为 90° 外圆车刀、2 号刀为内孔镗刀。其次，选用ϕ20mm 和ϕ32mm 麻花钻各一把，用于钻内孔和扩内孔。

零件毛坯为ϕ80mm×150mm 的棒料，材料为 45 钢，切削用量的选择见表 3-27。

表 3-27 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/r）	背吃刀量/mm
1	车端面（手动）	T1	500	0.2	—
2	钻孔、扩孔（手动）	—	400	—	—
3	粗车内轮廓，留 0.3mm 余量	T2	500	0.2	1.5
4	精车内轮廓	T2	1000	0.1	0.3
5	车端面（手动），保证总长	T1	500	0.2	—

3．参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 3-28。

表 3-28 数控加工参考程序

程序	说明
SK3501.MPF	主程序名
N10 G54 G90 M03 S500	
N20 T2 D1	调用 2 号内孔镗刀
N30 G00 X32 Z2	
N40 _CNAME=“L1”	
N50 R105=3 R106=0.3 R108=1.5 R109=0 R110=1 R111=0.2 R112=0.1	设置循环参数
N60 LCYC95	调用固定循环粗加工
N70 G00 Z200	
N80 X100	
N90 T2 D1	调用 2 号内孔镗刀
N100 M03 S1000 F0.1	
N110 G00 X32 Z2	
N120 L1	调用轮廓子程序 1 次，精加工内轮廓
N130 G00 Z200	
N140 X100	
N150 M05	
N160 M30	
L1.SPF	子程序名（内轮廓）
N10 G00 X62 Z1	
N20 G01 Z0	
N30 X60 Z-1	倒角加工
N40 Z-20	ϕ60mm 内孔加工
N50 X58	端面加工
N60 X56 Z-21	倒角加工
N70 Z-30	ϕ56mm 内孔加工
N80 X48 Z-40	内圆锥面加工
N90 Z-53	ϕ48mm 内孔加工
N100 G03 X34 Z-60 CR=7	R7mm 圆弧加工
N110 X32	
N120 M17	子程序结束

3.5.3 实例 36——盘套类零件编程加工（三）

1．零件工艺分析

图 3-14 所示零件是由外圆柱面、内圆柱面和内倒角组成的盘类零件。其内、外轮廓相对简单，均可通过调用 LCYC95 毛坯切削循环来编程加工。由于内、外轮廓需要二次装夹分别加工，在选择加工方式时，外轮廓的加工选择纵向/外部/综合加工（粗、精加工）方

式，内轮廓由于长径比相对较小，选择横向/内部/综合加工（粗、精加工）方式比较合理。

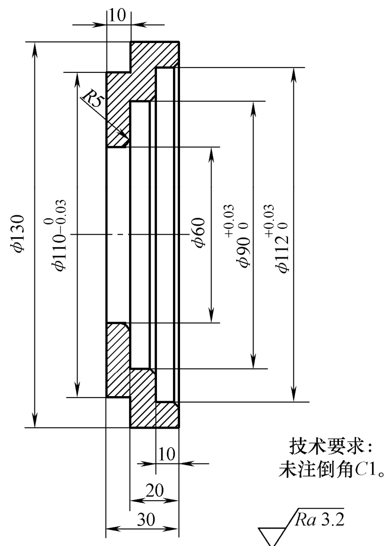


图 3-14 实例 36 零件图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选择 1 号刀为 95° 外圆车刀、2 号刀为内孔镗刀。其次，选用φ26mm 和φ50mm 麻花钻各一把，用于钻内孔和扩内孔。

零件毛坯为φ135mm×50mm 的棒料，加工材料为 45 钢，切削用量的选择见表 3-29。

表 3-29 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/r）	背吃刀量/mm
1	用自定心卡盘夹持毛坯外圆，伸出长约20mm，找正后夹紧	—	—	—	—
2	手动车工艺台，车外圆至φ110mm	T1	600	0.2	2.0
3	调头装夹φ110mm 外圆，找正夹紧	—	—	—	—
4	车端面，对刀（外圆刀）	T1	600	0.2	—
5	钻孔、扩孔至φ50mm	—	300	—	—
6	粗车外轮廓	T1	600	0.2	2
7	精车外轮廓达尺寸要求	T1	1000	0.1	0.3
8	调头装夹φ130mm 外圆，切断刀切除多余材料，预留总长余量	T3	600	0.15	3
9	夹持φ110mm 外圆，找正，车端面	T1	600	0.2	—
10	手动镗内孔，对刀（镗孔刀）	T1	400	0.2	0.5
11	粗车内轮廓	T2	400	0.2	1.5
12	精车内轮廓达尺寸要求	T2	800	0.1	0.3

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 3-30、表 3-31。

表 3-30 数控加工参考程序（外轮廓）

程 序	说 明
SK3601.MPF	主程序名（外轮廓）
N10 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N20 M03 S600	
N30 G00 X135 Z2	
N40 _CNAME="L1"	轮廓子程序名
N50 R105=1 R106=0.3 R108=2 R109=0 R110=1 R111=0.2 R112=0.1	设定循环参数
N60 LCYC95	调用固定循环粗加工外轮廓
N70 G00 X200 Z100	
N80 T1 D1	重新调用 1 号外圆车刀
N90 M03 S1000	
N100 G00 X130 Z2	
N110 R105=5	重新设定加工方式
N120 LCYC95	调用固定循环精加工外轮廓
N130 G00 X200 Z100	
N140 M05	
N150 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（外轮廓）
N10 G00 X110 Z1	快速点定位靠近轮廓起始点
N20 Z-25	ϕ110mm 外圆加工
N30 X130	端面加工
N40 Z-31	ϕ130mm 外圆加工
N50 X135	退刀
N60 M17	子程序结束

表 3-31 数控加工参考程序（内轮廓）

程 序	说 明
SK3602.MPF	主程序名（内轮廓）
N10 T2 D1	调用 2 号内孔镗刀
N20 M03 S400	
N30 G00 X50 Z2	
N40 _CNAME="L2"	轮廓子程序名
N50 R105=4 R106=0.3 R108=1.5 R109=0 R110=1 R111=0.2 R112=0.1	设定循环参数
N60 LCYC95	调用固定循环粗加工
N70 G00 Z200	
N80 X200	
N90 T2 D1	重新调用 2 号刀
N100 M03 S800	
N110 G00 X50 Z2	快速点定位至切削起点
N120 R105=8	设置循环参数
N130 LCYC95	调用固定循环精加工
N140 G00 Z200	
N150 X200	
N160 M05	
N170 M30	程序结束
L2.SPF	子程序名（内轮廓）
N10 G00 X50 Z-31	
N20 G01 X60	

（续）

程　　序	说　　明
N30 Z-10 RND=5	ϕ60mm 内孔及 *R*5mm 倒圆加工
N40 X90	端面加工
N50 Z-10 CHF=1	ϕ90mm 内孔及 *C*1mm 倒圆加工
N60 X112	端面加工
N70 Z0 CHF=1	ϕ112mm 内孔及 *C*1mm 倒圆加工
N80 Z1	轴向退刀
N90 M17	子程序结束

3.6 非圆曲线类零件编程加工（2 例）

3.6.1 实例 37——非圆曲线类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

从零件图（图 3-15）看出，该零件外轮廓由圆柱、圆弧、非圆曲线连接而成。非圆曲线外的其他外轮廓采用毛坯切削循环 LCYC95 编程加工，非圆曲线部分粗加工采用变量（参数）阶梯式编程，精加工采用变量（参数）等步距短直线拟合编程，螺纹采用螺纹切削循环 LCYC97 编程加工。

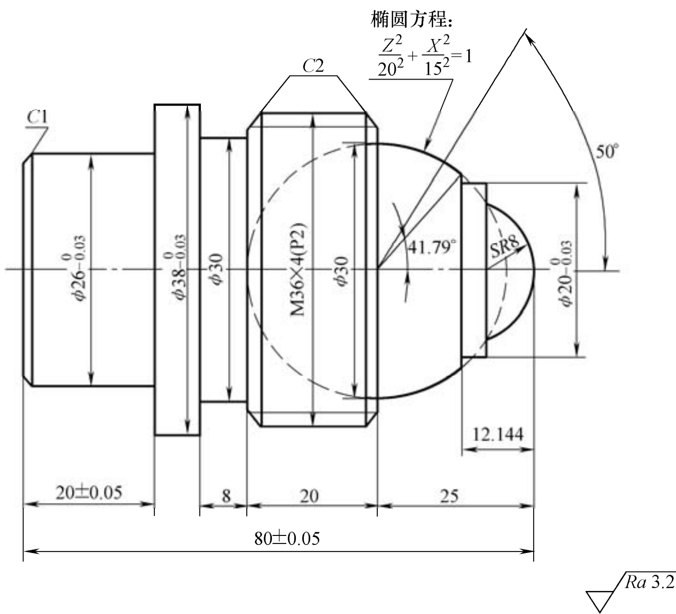


图 3-15　实例 37 零件图

在采用等步距直线拟合的方法编程加工非圆曲线时，其等步距除了可以选用平行于曲线标准方程所在平面各坐标轴（如 *X* 轴、*Z* 轴）的线段之外，还可以采用角度。图 3-15 所示零件已知椭圆曲线的参数方程，可以选用椭圆参数方程中的参数——离心角作为等步距，将非圆曲线离散为若干段，计算各离散点的坐标，用短直线将相邻的离散点连接即可

实现拟合加工。

以椭圆离心角作为步距短直线拟合时，当椭圆起始或终止位置的圆心角为任意角度时，其理论轨迹坐标点与实际轨迹坐标点存在一定的角度偏差，如图 3-16 所示，角 α 的终边一般不经过点（$a\sin\alpha$，$b\cos\alpha$），只有其终边在坐标轴上时才经过。图 3-15 所示零件，椭圆曲线的起始位置没有在坐标轴上，因此不能直接使用理论起始离心角 41.79°，而应该使用实际起始离心角 50°，该曲线加工终点的离心角终边正好在 X 坐标轴上，因此其终点离心角可以直接使用理论离心角 90°。

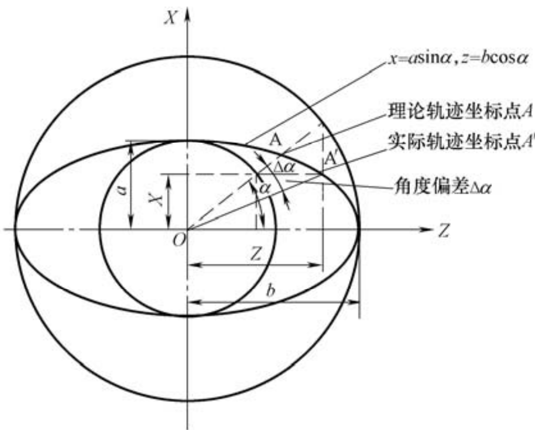


图 3-16 椭圆极坐标方程计算轨迹偏差图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选择 1 号刀为 93° 外圆车刀、2 号为宽 3mm 的切槽刀、3 号刀为 60° 三角形外螺纹刀。

零件毛坯为 ϕ40mm×100mm 的棒料，加工材料为 45 钢，切削用量的选择见表 3-32。

表 3-32 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	用自定心卡盘夹持毛坯外圆，伸出长约35mm，找正后夹紧	—	—	—	—
2	手动车端面、外圆，对刀	T1	500	0.2	—
3	粗车外轮廓，预留精加工余量 0.3mm	T1	300	—	—
4	精车外轮廓达尺寸要求	T1	500	0.2	2
5	调头装夹已加工表面ϕ26mm，找正夹紧	—	—	—	—
6	平端面，保总长，对刀	T1	500	0.2	—
7	粗车除椭圆曲线外其他外轮廓，预留精加工余量 0.3mm	T1	500	0.2	2
8	精车除椭圆曲线外其他外轮廓	T1	1200	0.1	0.3
9	粗车椭圆曲线外轮廓	T1	500	0.2	2
10	精车椭圆曲线外轮廓	T1	1200	0.1	0.3
11	切退刀槽	T2	500	0.2	3
12	车螺纹	T3	500	4	—

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 3-33、

表 3-34。

表 3-33　数控加工参考程序（左端外轮廓）

程　　序	说　　明
SK3701.MPF	主程序名
N10 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N20 M03 S500	
N30 G00 X40 Z2	
N40 _CNAME=“L1”	轮廓子程序名
N60 R105=1 R106=0.3 R108=2 R109=0 R110=1 R111=0.3 R112=0.1	设定循环参数，预留精加工余量 0.3mm
N70 LCYC95	调用固定循环粗加工外轮廓
N80 G00 X100 Z100	
N90 T1 D1	重新调用 1 号外圆车刀
N100 M03 S1200	
N110 G00 X50 Z2	
N120 R105=5	重新设定加工方式
N130 LCYC95	调用固定循环精加工外轮廓
N140 G00 X100 Z100	
N150 M05	
N160 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（左端外轮廓）
N10 G00 X24 Z1	
N20 G01 Z0	
N30 X26 Z-1	*C*1mm 倒角加工
N40 Z-20	ϕ26mm 外圆加工
N50 X38	端面加工
N60 Z-28	ϕ38mm 外圆加工
N70 X40	
N80 M17	子程序结束

表 3-34　数控加工参考程序（右端椭圆曲线）

程　　序	说　　明
SK3702.MPF	主程序名（右侧椭圆曲线）
N10 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N20 M03 S500	
N30 G00 X40 Z2	
N40 _CNAME=“L2”	轮廓子程序名
N50 R105=1 R106=0.3 R108=2 R109=0 R110=1 R111=0.3 R112=0.1	设定循环参数，预留精加工余量 0.3mm
N60 LCYC95	调用固定循环粗加工外轮廓
N70 G00 X100 Z100	
N80 T1 D1	重新调用 1 号外圆车刀
N90 M03 S1200	
N100 G00 X50 Z2	
N110 R105=5	重新设定加工方式
N120 LCYC95	调用固定循环精加工外轮廓
N130 G00 X100 Z100	
N140 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N150 M03 S500 F0.3	
N160 G00 X40 Z-24	
N170 R1=50	定义参数：椭圆曲线离心角，并赋初值

（续）

程　　序	说　　明
N180 AA1：R2=15*sin（R1）	跳转目标，定义参数：椭圆曲线离散点方程坐标系中的 X 坐标，赋表达式
N190 R3=20*cos（R1）	定义参数：椭圆曲线离散点方程坐标系中的 Z 坐标，赋表达式
N200 R4=2*R3	定义参数：椭圆曲线离散点工件坐标系中的 X 坐标，赋表达式
N210 R5=R3−25	定义参数：椭圆曲线离散点工件坐标系中的 Z 坐标，赋表达式
N220 G00 X=R4	快速定位至粗加工切削起点
N230 G01 Z=R5−0.5	直线插补沿轴向粗加工椭圆曲线
N240 X=R4+1	沿径向抬刀
N250 G00 Z−24	沿轴向快速退刀
N260 R1=R1+0.1	离心角自加
N270 IF R1<=90 GOTOB AA1	设置跳转条件
N280 G00 X100 Z100	
N290 T1 D1	重新调用 1 号外圆车刀
N300 M03 S1200 F0.1	
N310 G00 X40 Z−24	
N320 L3	调用非圆曲线精加工子程序
N330 G00 X100 Z100	
N340 T2 D1	调用 2 号切槽刀
N350 M03 S500	
N360 G00 X38 Z2	刀具快速靠近工件表面
N370 Z−33	沿轴向快速进刀至切槽位置
N380 R100=38 R101=−33 R105=1 R106=0.1 R107=3 R108=3 R114=8 R115=4 R116=0 R117=0 R118=0 R119=1	设定切槽循环参数
N390 LCYC93	调用切槽循环
N400 G00 Z−46	
N410 G01 X36 F0.1	沿径向直线插补至 C2mm 倒角起始位置
N420 X32 Z−48	斜向进刀倒角 C2mm
N430 G00 X100 Z100	
N440 T3 D1	调用 3 号螺纹刀
N450 M03 S500	
N460 G00 X36 Z−25	
N470 R100=36 R101=−25 R102=36 R103=−45 R104=4 R105=1 R106=0.02 R109=6 R110=4 R111=1.3 R112=0 R113=10 R114=2	设定循环参数
N480 LCYC97	调用循环加工双线螺纹
N490 G00 X100 Z100	
N500 M05	
N510 M30	程序结束
L2.SPF	子程序名（右端外轮廓）
N10 G00 X0 Z1	
N20 G01 Z0	直线插补至轮廓起点
N30 G03 X16 Z−8 CR=8	R8mm 圆弧加工
N40 X20	端面加工
N50 Z−12.114	ϕ20mm 圆柱加工
N60 X31	端面加工
N70 Z−25	ϕ31mm 圆柱加工
N80 X32	端面加工
N90 X35.85 Z−27	C2mm 倒角加工

（续）

程　　序	说　　明
N100 Z-53	螺纹大径加工
N110 X40	
N120 M17	子程序结束
L3.SPF	子程序名（椭圆曲线）
N10 R10=50	定义参数：椭圆离心角，并赋初值
N20 AA2：R20=15 *SIN（R1）	定义参数：椭圆方程坐标系 *X* 向坐标，并赋表达式
N30 R30=20 *COS（R1）	定义参数：椭圆方程坐标系 *Z* 向坐标，并赋表达式
N40 R40=2 *R20	定义参数：椭圆工件坐标系 *X* 向坐标，并赋表达式
N50 R50=R30-25	定义参数：椭圆工件坐标系 *Z* 向坐标，并赋表达式
N60 G01 X=R40 Z=R50	直线插补，短直线连接曲线各离散点
N70 R10=R10+0.11；	自变量参数自加
N80 IF R10<=90 GOTOB AA2	曲线加工跳转条件
N90 G01 X31	直线插补至圆弧起点
N100 G00 Z-12	沿轴向退回曲线加工起点
N110 M17	子程序结束

3.6.2　实例 38——非圆曲线类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

该零件(图 3-17)除非圆曲线外的其他轮廓可以采用毛坯切削循环 LCYC95 编程加工，螺纹部分采用 LCYC97 螺纹切削循环编程加工，直槽比较宽且深，可以采用切槽循环 LCYC93 编程加工，两段非圆曲线可以采用等步距直线拟合的方法配合可编程零点偏置指令来完成编程加工。工件装夹在自定心卡盘中，零件需要调头装夹完成加工。两次装夹加工时都将工件坐标系设置在工件右端面轴线上。

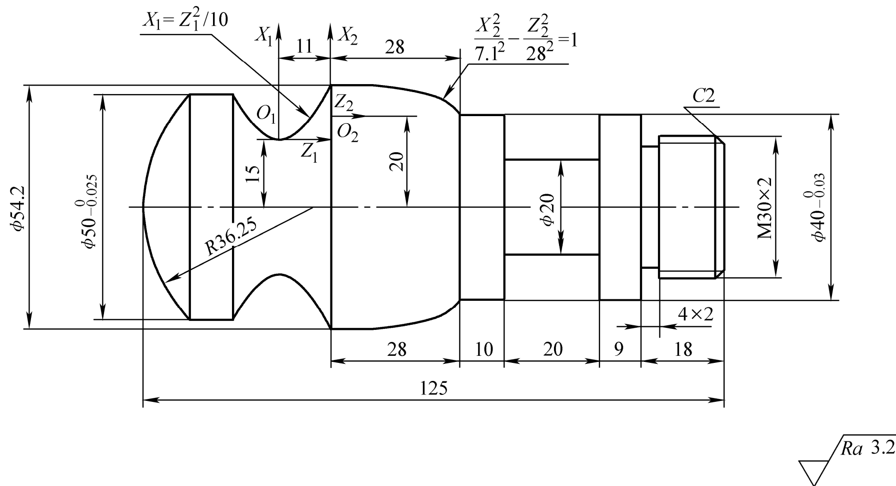


图 3-17　实例 38 零件图

2. 刀具与切削用量选择

选择 1 号刀为 93° 外圆车刀、2 号刀为宽 4mm 的切槽刀、3 号刀为 60° 三角形外螺纹

车刀、4 号刀为尖形外圆车刀。

零件毛坯为ϕ60mm×200mm 的棒料，加工材料为 45 钢，根据加工要求，切削用量的选择见表 3-35。

表 3-35 切削用量选择

操 作 序 号	工 步 内 容	刀 具 号	切 削 用 量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	车端面（手动）	T1	500	0.2	—
2	钻孔（手动）	—	300	—	—
3	粗车右端除椭圆曲线外的外轮廓，留 0.3mm 余量	T1	500	0.2	2
4	精车右端除椭圆曲线外的外轮廓	T1	1000	0.1	0.3
5	粗车椭圆曲线外轮廓，留 0.3mm 余量	T1	500	0.2	2
6	精车椭圆曲线外轮廓	T1	1000	0.1	0.3
7	切槽	T2	500	0.1	4
8	车螺纹	T3	500	2	—
9	调头装夹，车端面（手动）	T1	500	0.2	—
10	粗车左端外圆，留 0.3mm 余量	T1	500	0.2	2
11	精车左端外圆	T1	1000	0.1	0.3
12	粗车抛物线曲线外轮廓，留 0.3mm 余量	T4	500	0.2	2
13	精车抛物线曲线外轮廓	T4	1000	0.1	0.3

3. *参考程序*

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 3-36、表 3-37。

表 3-36 数控加工参考程序（右端）

程 序	说 明
SK3801.MPF	主程序名（右端）
N10 T1 D2	调用 1 号外圆车刀
N20 M03 S500	
N30 G00 X60 Z2	
N40 _CNAME="L1"	轮廓子程序名
N50 R105=1 R106=0.3 R108=2 R109=0 R110=1 R111=0.2 R112=0.1	设置循环参数
N60 LCYC95	调用固定循环粗加工外轮廓
N70 G00 X100 Z200	
N80 T1 D1	重新调用 1 号外圆车刀
N90 M03 S1000	
N100 G00 X50 Z2	
N110 R105=5	重新设定加工方式参数
N120 LCYC95	调用固定循环精加工外轮廓
N130 G00 X100 Z200	
N140 T1 D1	重新调用 1 号外圆车刀
N150 M03 S500	
N160 G00 X60 Z-57	
N170 R1=8.3	定义参数并赋初值：总偏移量
N180 MA1:G158 X=R1	工件坐标系偏移
N190 L2	调用子程序粗加工椭圆曲线
N200 R1=R1-2	参数自减
N210 IF R1>=0.3 GOTOB MA1	粗加工跳转条件
N220 G00 X100 Z200	

（续）

程　　序	说　　明
N230 T1 D1	重新调用 1 号外圆车刀
N240 M03 S1000	
N250 G00 X56 Z-57	
N260 G158	取消可编程零点偏置
N270 L2	调用子程序精加工椭圆曲线
N280 G00 X100 Z200	
N290 T2 D1 M03 S500	调用 2 号切槽刀
N300 G00 X31 Z-18	
N310 G01 X25 F0.1	
N320 X43	
N330 G00 Z-47	
N340 R100=28 R101=-32.877 R105=1 R106=0.1 R107=2 R108=1 R114=3 R115=4 R116=19 R117=0 R118=0 R119=0	设定循环参数
N350 LCYC93	调用切槽循环
N360 G00 X100 Z200	
N370 T3 D1	调用 3 号外螺纹车刀
N380 M03 S500	
N390 X30 Z2	
N400 R100=20 R101=0 R102=20 R103=-16 R104=2 R105=1 R106=0.02 R109=6 R110=0 R111=1.3 R112=0 R113=10 R114=1	设置螺纹参数
N410 LCYC97	调用固定循环加工螺纹
N420 G00 X100 Z200	
N430 M05	
N440 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（右端外轮廓）
N10 G00 X26 Z1	
N20 G01 Z0	
N30 X29.85 Z-2	
N40 Z-18	
N50 X40	
N60 Z-57	
N70 X55	
N80 Z-86	
N90 X60	
N100 M17	子程序结束
L2.SPF	子程序名（椭圆曲线）
N10 R2=0	定义参数：椭圆方程坐标系 X 向坐标，并赋初值
N20 R3=28	定义参数：椭圆方程坐标系 Z 向坐标，并赋初值
N30 R4=40	定义参数：椭圆工件坐标系 X 向坐标，并赋初值
N40 R5=-57	定义参数：椭圆工件坐标系 Z 向坐标，并赋初值
N50 MA2:G01 X=R4 Z=R5	
N60 R3=R3-0.01	自变量参数自减
N70 R2=SQRT（28*28-R3*R3） *7.1/28	应变量表达式
N80 R4=（R3＋20）*2	应变量表达式
N90 R5=R3-85	应变量表达式
N100 IF R3＞=0 GOTOB MA2	曲线加工跳转条件
N110 G01 X55	
N120 G00 Z-57	
N130 M17	子程序结束

表 3-37 数控加工参考程序（左端）

程 序	说 明
SK3802.MPF	主程序名（左端）
N10 T1 D2	调用 1 号外圆车刀
N20 M03 S500	
N30 G00 X60 Z2	
N40 _CNAME=“L3”	轮廓子程序名
N50 R105=1 R106=0.3 R108=2 R109=0 R110=1 R111=0.2 R112=0.1	设置循环参数
N60 LCYC95	调用固定循环粗加工外轮廓
N70 G00 X100 Z200	
N80 T1 D2	重新调用 1 号外圆车刀
N90 M03 S1000	
N100 G00 X50 Z2	
N110 R105=5	重新设定加工方式参数
N120 LCYC95	调用固定循环精加工外轮廓
N130 G00 X100 Z200	
N140 T4 D1	调用 4 号尖形车刀
N150 M03 S500	
N160 G00 X55 Z−9	
N170 R1=10.3	定义参数并赋初值：总偏移量
N180 MA1:G158 X=R1	工件坐标系偏移
N190 L4	调用子程序粗加工抛物线轮廓
N200 R1=R1−2	参数自减
N210 IF R1＞=0.3 GOTOB MA1	粗加工跳转条件
N220 G00 X100 Z200	
N230 T4 D1	重新调用 4 号尖形车刀
N240 M03 S1000 F0.1	
N250 G00 X55 Z−9	
N260 G158	取消可编程零点偏置
N270 L4	调用子程序精加工抛物线轮廓
N280 G00 X100 Z200	
N290 M05	
N300 M30	程序结束
L3.SPF	子程序名（左端外轮廓）
N10 G00 X0 Z1	
N20 G01 Z0	
N30 G03 X50 Z−10 CR=36.25	
N40 G01 Z−29	
N50 X60	
N60 M17	子程序结束
L4.SPF	子程序名（抛物线）
N10 R2=10	定义参数：抛物线方程坐标系 X 向坐标，并赋初值
N20 R3=10	定义参数：抛物线方程坐标系 Z 向坐标，并赋初值
N30 R4=50	定义参数：抛物线工件坐标系 X 向坐标，并赋初值
N40 R5=−9	定义参数：抛物线工件坐标系 Z 向坐标，并赋初值
N50 MA2:G01 X=R4 Z=R5	
N60 R3=R3−0.01	自变量参数自减
N70 R2= R3*R3/10	应变量表达式
N80 R4=（R2＋15）*2	应变量表达式
N90 R5=R3−19	应变量表达式
N100 IF R3＞=−11 GOTOB MA2	曲线加工跳转条件
N110 G01 X55	
N120 G00 Z−9	
N130 M17	子程序结束

3.7 综合类零件编程加工（4 例）

3.7.1 实例 39——综合类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 3-18 所示零件由若干圆柱、圆弧连接而成。由于其外轮廓尺寸非单调递增或单调递减，因此不能采用毛坯切削循环 LCYC95 编程加工，只能将其轮廓编辑在子程序内，通过在主程序中采用反复调用子程序配合可编程零点偏置指令来编程加工，类似于普通机床加工中的靠模法。内轮廓可以采用 LCYC95 毛坯切削循环编程加工。

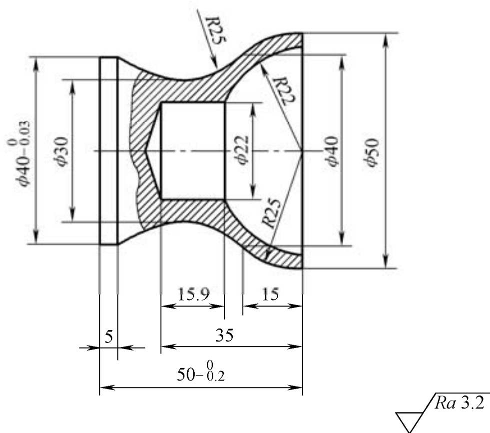


图 3-18 实例 39 零件图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选择 1 号刀为尖形外圆车刀、2 号刀为内孔镗刀。其次，选择ϕ20mm 麻花钻用于钻内孔。

零件毛坯为ϕ135mm×100mm 的棒料，加工材料为 45 钢，切削用量的选择见表 3-38。

表 3-38 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	用自定心卡盘夹持毛坯外圆，找正后夹紧	—	—	—	—
2	手动车端面、外圆，对刀	T1	500	0.2	—
3	粗车外轮廓，预留精加工余量 0.3mm	T1	500	0.2	2
4	精车外轮廓达尺寸要求	T1	1200	0.1	0.3
5	粗车内轮廓，预留精加工余量 0.3mm	T2	500	0.2	1.5
6	精车内轮廓达尺寸要求	T2	800	0.1	0.3

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 3-39。

表 3-39 数控加工参考程序

程 序	说 明
SK3901.MPF	主程序名
N10 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N20 M03 S500	
N30 G00 X60 Z2	使刀具快速靠近工件表面
N40 R1=12.3	设定变量并赋初值
N50 G158 X=R1	沿径向工件坐标系偏置
N60 L1	调用子程序粗加工外轮廓
N70 R1=R1-2	偏移量减少
N80 IF R1>=0.3 GOTOB MA1	设置粗加工跳转条件
N90 G00 X100 Z100	
N100 T1 D1	重新调用 1 号外圆车刀
N110 M03 S1200 F0.1	
N120 G00 X60 Z2	
N130 G158	取消可编程零点偏置
N140 L1	调用子程序精加工外轮廓
N150 G00 X200 Z200	
N160 T2 D1	调用 2 号内孔镗刀，导入刀具 1 号刀补
N170 M03 S500	
N180 G00 X20 Z2	
N190 _CNAME="L2"	轮廓子程序名
N200 R105=3 R106=0.3 R108=1.5 R109=0 R110=1 R111=0.2 R112=0.1	设置循环参数
N210 LCYC95	调用固定循环
N220 G00 Z200	
N230 X200	
N240 T2 D1	重新调用 2 号刀具，导入刀具 1 号刀补
N250 M03 S800 F0.1	
N260 G00 X20 Z2	
N270 L2	调用轮廓子程序 1 次，精加工内轮廓
N280 G00 Z200	
N290 X200	
N300 M05	
N310 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（外轮廓）
N10 G00 X50 Z1	
N20 G01 Z0	使刀具移至端面
N30 G03 X40 Z-15 CR=25	R25mm 圆弧加工
N40 G02 X40 Z-45 CR=25	R25mm 圆弧加工
N50 G01 Z-51	ϕ40mm 圆柱加工
N60 X55	沿径向抬刀
N70 G00 Z2	沿轴向快速退刀
N80 M17	子程序结束
L2.SPF	子程序名（内轮廓）
N10 G00 X44 Z1	
N20 G01 Z0	刀具移至端面
N30 G03 X22 Z-19.1 CR=22	R22mm 圆弧加工
N40 G01 Z-35	ϕ22mm 内孔加工
N50 X20	
N60 M17	子程序结束

3.7.2 实例 40——综合类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

该零件（图 3-19）外轮廓部分采用毛坯切削循环 LCYC95 编程加工，螺纹部分采用 LCYC97 螺纹切削循环来编程加工。工件装夹在自定心卡盘中，该零件需要调头装夹完成加工。首先加工左端轮廓，工件坐标系设置在工件左端面轴线上，调头装夹加工右端时，以工件右端面中心点建立工件坐标系。

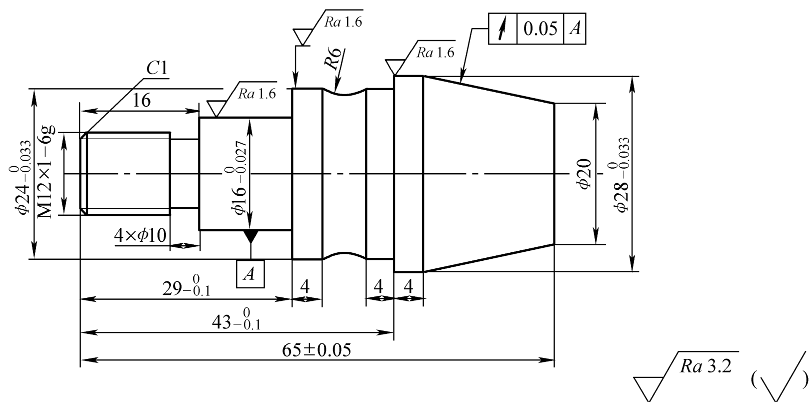


图 3-19 实例 40 零件图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选择 1 号刀为 93° 外圆车刀、2 号刀为宽 4mm 的切槽刀、3 号刀为 60° 三角形外螺纹车刀。

零件毛坯为ϕ40mm×100mm 的棒料，加工材料为 45 钢，切削用量的选择见表 3-40。

表 3-40 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/r）	背吃刀量/mm
1	车端面（手动）	T1	600	0.2	—
2	粗车左端外轮廓，留 0.2mm 余量	T1	600	0.2	1.5
3	精车左端外轮廓	T1	800	0.1	0.1
4	车退刀槽	T2	300	0.08	4
5	车外螺纹	T3	400	1	—
6	调头装夹，车端面	T1	600	0.2	1.5
7	粗车右端外轮廓，留 0.2mm 余量	T1	600	0.2	1.5
8	精车右端外轮廓	T1	800	0.1	0.1

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 3-41、表 3-42。

表 3-41 数控加工参考程序（左端）

程 序	说 明
SK4001.MPF	主程序名（左端）
N10 G54 G90 G71 G95	
N20 M03 S600 F0.2 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N30 G00 X32 Z5	
N40 _CNAME="L1"	轮廓子程序名
N50 R105=1 R106=0.2 R108=1.5 R109=0 R110=0.5 R111=0.2 R112=0.1	设置循环参数
N60 LCYC95	调用固定循环粗加工外轮廓
N70 G00 X28 Z-32.95	
N80 G01 X24.2	
N90 G02 Z-38.95 CR=6	粗车圆弧槽
N100 G01 X28	
N110 M03 S800	
N120 G00 G42 X0 Z5	
N130 G01 Z0 F0.1	精车轮廓
N140 X11.9 CHF=1.414	
N150 Z-16	
N160 X15.986 CHF=0.707	
N170 Z-28.95	
N180 X23.983 CHF0.707	
N190 Z-32.95	
N200 G02 Z-38.95 CR=6	
N210 G01 Z-42.95	
N220 X32	
N230 G00 G40 X100 Z200	
N240 T2 D1	调用 2 号切槽刀
N250 M03 S300	
N260 G00 X23 Z-16	
N270 G01 X10 F0.08	切槽
N280 G04 F2	
N290 G01 X23	
N300 G00 X100 Z200	
N310 T3 D1	调用 3 号外螺纹车刀
N320 M03 S400	
N330 G00 X16 Z5	
N340 R100=12 R101=0 R102=12 R103=-12 R104=1 R105=1 R106=0.1 R109=2 R110=2 R111=0.65 R112=0 R113=3 R114=1	设定循环参数
N350 LCYC97	调用固定循环加工螺纹
N360 G00 X100 Z200	
N370 M05	
N380 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（左端外轮廓）
N10 G01 X0 Z0	
N20 X11.9 CHF=1.414	
N30 Z-16	
N40 X15.986 CHF=0.707	
N50 Z-28.95	
N60 X23.983 CHF=0.707	
N70 Z-42.95	
N80 X32	
N90 M17	子程序结束

表 3-42 数控加工参考程序（右端）

程　　序	说　　明
SK4002.MPF	主程序名（右端）
N10 G54　G90 G71 G95	设置初始状态
N20 M03 S600 F0.2 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N30 G00 X32 Z5	
N40 _CNAME=“L2”	轮廓子程序名
N50 R105=1 R106=0.2 R108=1.5 R109=0 R110=0.5 R111=0.2 R112=0.1	设置循环参数
N60 LCYC95	调用固定循环粗加工外轮廓
N70 G00 X32 Z5	
N80 M03 S800	
N90 G00 X0 Z5	
N100 G01 G42 Z0 F0.1	精车端面
N110 X20 CHF=0.707	精车外轮廓
N120 X27.983 Z−18	
N130 Z−23	
N140 X32	
N150 G00 G40 X100 Z200	
N160 M30	程序结束
L2.SPF	子程序名（右端外轮廓）
N10 G01 X0 Z0	
N20 X20 CHF=0.707	
N30 X27.983 Z−18	
N40 Z−23	
N50 X32	
N60 M17	子程序结束

3.7.3　实例 41——综合类零件编程加工（三）

1. 零件工艺分析

图 3-20 所示零件由圆柱 $\phi48^{0}_{-0.19}$mm，$\phi40^{0}_{-0.03}$mm，圆锥、退刀槽、双线螺纹 M30×3/2 和倒角、倒圆组成。可以使用毛坯切削循环 LCYC95 编程对圆柱、圆锥及倒角、倒圆进行加工；M30×3/2 可以使用螺纹切削循环 LCYC97 加工，也可以使用 G33 螺纹加工指令加工。毛坯长度 110mm，零件实际长度 85mm，在一次装夹中即可将零件加工成形。

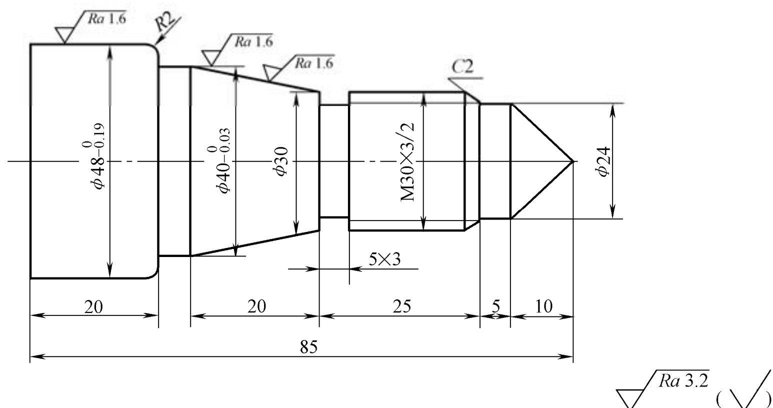


图 3-20　实例 41 零件图

多线螺纹的加工方法与单线螺纹的加工方法基本相同，需要注意的是多线螺纹的每一线螺纹加工都是以导程作为进给量，不是螺距。而在计算牙高或小径时，却要按照螺距来计算，而非导程。

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选择 1 号刀为 93° 外圆车刀、2 号刀为宽 3mm 的切槽刀、3 号刀为 60° 三角形外螺纹车刀。

零件毛坯为ϕ50mm×110mm 的棒料，加工材料为 45 钢，切削用量的选择见表 3-43。

表 3-43 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/r）	背吃刀量/mm
1	用自定心卡盘夹持毛坯外圆，找正后夹紧	—	—	—	—
2	手动车端面、外圆，对刀	T1	500	0.2	—
3	粗车外轮廓，预留精加工余量 0.3mm	T1	500	0.2	2
4	精车外轮廓达尺寸要求	T1	1200	0.1	0.3
5	切退刀槽	T2	500	0.1	3
6	车螺纹	T3	500	3	—

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 3-44。

表 3-44 数控加工参考程序

程序	说明
SK4101.MPF；	主程序名
N10 T1 D1；	调用 1 号外圆车刀
N20 M03 S500；	
N30 G00 X50 Z2；	
N40 _CNAME=“L1”；	轮廓子程序名
N50 R105=3 R106=0.3 R108=1.5 R109=0 R110=1 R111=0.2 R112=0.1；	设置循环参数，保证精加工余量为 0.3mm
N60 LCYC95；	调用固定循环
N70 G00 X200 Z200；	
N80 T1 D1；	重新调用 1 号刀具
N90 M03 S1200 F0.1	
N100 G00 X50 Z2；	
N110 L1；	调用轮廓子程序 1 次，精加工内轮廓
N120 G00 X200 Z200；	
N130 T2 D1；	调用 2 号切槽刀
N140 M03 S500；	
N150 G00 X32 Z2；	
N160 Z-40；	
N170 G01 X24 F0.1；	沿径向切槽
N180 X32；	
N190 Z-38；	
N200 G01 X24；	沿径向切槽
N210 X32；	
N220 G00 X200 Z200；	
N230 T3 D1；	调用 3 号外螺纹刀

（续）

程　　序	说　　明
N240 M03 S500；	
N250 G00 X36 Z-15；	使刀具快速靠近工件表面
N260 R100=30 R101=-15 R102=30 R103=-35 R104=3 R105=1 R106=0.05 R109=2 R110=2 R111=0.975 R112=0 R113=6 R114=2	设置循环参数（参数 R114 设定线数为 2）
N270 LCYC97；	调用固定循环加工螺纹
N280 G00 X100 Z200；	
N290 M05；	
N300 M30；	程序结束
L1.SPF	子程序名（外轮廓）
N10 G00 X0 Z1	
N20 G01 Z0	
N30 X24 Z-10	圆锥加工
N40 Z-15；	ϕ24mm 圆柱加工
N50 X26	端面加工
N60 X29.85 Z-17	C2mm 倒角加工
N70 Z-40	螺纹大径加工
N80 X40 Z-60	圆锥加工
N90 Z-65	ϕ40mm 圆柱加工
N100 X44	端面加工
N110 G03 X48 Z-67 CR=2	R2mm 圆弧加工
N120 G01 Z-85	ϕ48mm 圆柱加工
N130 X50	
N140 M17	子程序结束

3.7.4 实例 42——综合类零件编程加工（四）

1. 零件工艺分析

该零件（图 3-21）外轮廓采用毛坯切削循环 LCYC95 编程加工，螺纹部分采用 LCYC97 螺纹切削循环来编程加工。工件装夹在自定心卡盘中，零件需要调头装夹完成加工。加工右端轮廓时，工件坐标系设置在工件右端面轴线上，调头装夹加工内孔时，以工件左端面中心点建立工件坐标系。

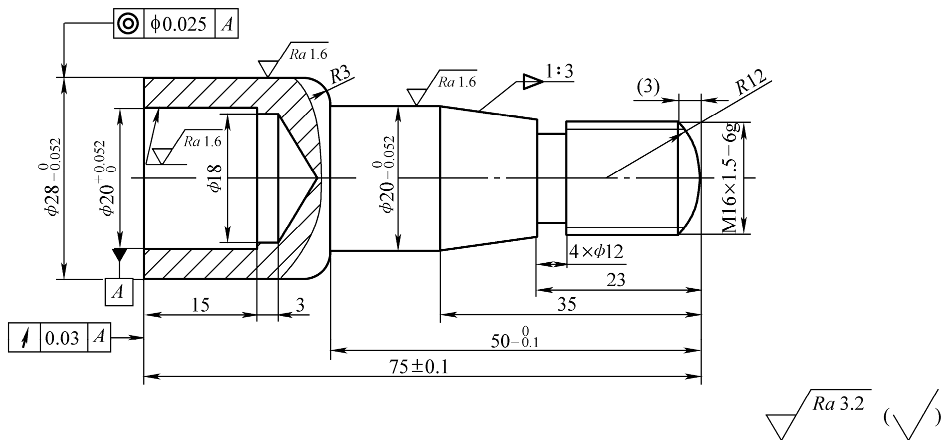


图 3-21　实例 42 零件图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选择 1 号刀为 93° 外圆车刀、2 号刀为宽 4mm 的切槽刀、3 号刀为 60° 三角形外螺纹车刀、4 号刀为内孔车刀。其次，选用ϕ18mm 麻花钻一把，用于钻内孔。

零件毛坯为ϕ40mm×110mm 的棒料，加工材料为 45 钢，切削用量的选择见表 3-45。

表 3-45 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	车端面	T1	600	0.2	1.5
2	粗车右端外轮廓，留 0.2mm 余量	T1	600	0.2	1.5
3	精车右端外轮廓	T1	800	0.1	0.1
4	车退刀槽	T2	300	0.08	4
5	车外螺纹	T3	400	1.5	—
6	调头装夹，车端面	T1	600	0.2	1.5
7	钻孔（手动）	—	400	—	—
8	粗车内孔，留 0.2mm 余量	T4	500	0.15	1.5
9	精车内孔	T4	700	0.1	0.1

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，数控加工参考程序见表 3-46、表 3-47。

表 3-46 数控加工参考程序（右端）

程序	说明
SK4201.MPF	主程序名（右端）
N10 G54 G90 G71 G95	设置初始状态
N20 M03 S600 F0.2 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N30 G00 X32 Z5	
N40 _CNAME=“L1”	轮廓子程序名
N50 R105=1 R106=0.2 R108=1.5 R109=0 R110=0.5 R111=0.2 R112=0.1	设置循环参数
N60 LCYC95	调用固定循环粗加工外轮廓
N70 G00 X32 Z5	
N80 M03 S800 F0.1	
N90 L1	调用子程序精加工外轮廓
N100 G00 X100 Z200	
N110 T2 D1	调用 2 号切槽刀
N120 M03 S500	
N130 G00 Z−23 X20	
N140 G01 X12 F0.08	切槽
N150 G04 F2	
N160 G01 X20	
N170 G00 X100 Z200	
N180 T3 D1	调用 3 号外螺纹车刀
N190 M03 S400	
N200 G00 X22 Z5	
N210 R100=16 R101=−3 R102=16 R103=−19 R104=1.5 R105=1 R106=0.1 R109=4 R110=2 R111=0.975 R112=0 R113=4 R114=1	设定循环参数
N220 LCYC97	调用固定循环加工螺纹

（续）

程　　序	说　　明
N230 G00 X100 Z200	
N240 M05	
N250 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（右端外轮廓）
N10 G01 X0 Z0	
N20 G03 X15.85 Z-3 CR=12	
N30 G01 Z-23	
N40 X16	
N50 X19.974 Z-35	
N60 Z-49.95	
N70 X27.974 RND=3	
N80 Z-79	
N90 X32	
N100 X34	
N110 M17	子程序结束

表 3-47　数控加工参考程序（左端）

程　　序	说　　明
SK4202.MPF	主程序名（左端）
N10 G54 G90 G71 G95	设置初始状态
N20 M03 S500 F0.15 T4 D1	调用 4 号内孔车刀
N30 G00 X19 Z5	
N40 G01 Z-15	粗车内孔
N50 X17	
N60 G00 Z100	
N70 M03 S700	
N80 X20.026 Z3	
N90 G01 Z-15 F0.1	精车内孔
N100 X17	
N110 G00 Z200	
N120 X100	
N130 M05	
N140 M30	程序结束

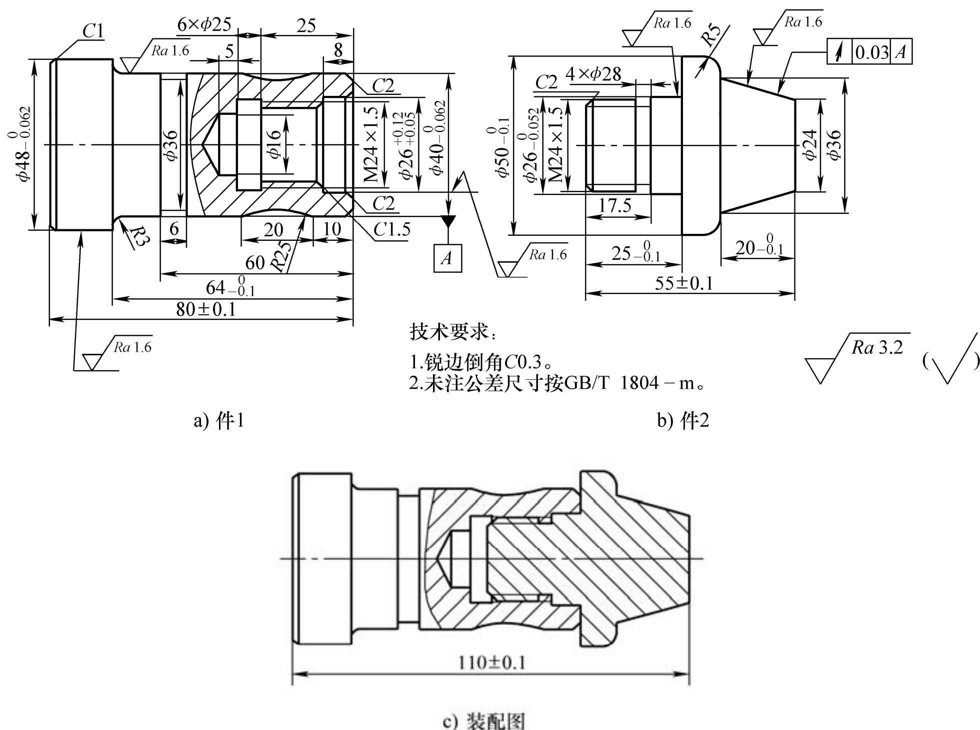
3.8　配合类零件编程加工（2 例）

3.8.1　实例 43——配合类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

该配合类零件（图 3-22）加工采用件 1、件 2 交替加工，首先夹住件 2 右端毛坯外圆，加工左端外圆、沟槽及外螺纹表面；然后夹住件 1 左端毛坯外圆，加工件 1 右端端面、外圆、内孔、内螺纹等，再将件 2 拧在件 1 上，加工件 2 右端面、圆锥及外圆（因件 2 的 ϕ26mm 外圆长度较短，加工右端面表面时刀具易碰到卡盘表面）；最后调头加工

件 1 左端端面、ϕ48mm 外圆。



a) 件1　　b) 件2

c) 装配图

图 3-22　实例 43 零件图与装配图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选择 1 号刀为 93° 外圆车刀、2 号刀为宽 4mm 的切槽刀、3 号刀为 60° 三角形外螺纹车刀、4 号刀为内孔车刀、5 号刀为宽 4mm 的内切槽刀、6 号刀为内螺纹车刀，共 6 把刀。其次，选用ϕ16mm 麻花钻一把，用于钻内孔。

零件毛坯为ϕ60mm×130mm 的棒料，加工材料为 45 钢，硬度较高，切削力较大，切削用量选择小些，切削用量的选择见表 3-48、表 3-49。

表 3-48　件 1 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	车端面	T1	500	0.2	1.5
2	粗车右端外轮廓，留 0.2mm 余量	T1	500	0.2	1.5
3	精车右端外轮廓	T1	700	0.1	0.1
4	切槽	T2	300	0.08	4
5	钻孔（手动）	—	400	—	—
6	粗车内孔，留 0.4mm 余量	T4	500	0.2	1.5
7	精车内孔	T4	700	0.1	0.1
8	车内沟槽	T5	300	0.05	4
9	车内螺纹	T6	400	1.5	—
10	将件 2 拧在件 1 上，调头装夹，车端面	T1	500	0.2	1.5
11	粗车左端外轮廓，留 0.2mm 余量	T1	500	0.2	1.5
12	精车左端外轮廓	T1	700	0.1	0.1

表 3-49 件 2 切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	切削用量		
			主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	车端面	T1	500	0.2	1.5
2	粗车左端外轮廓，留 0.2mm 余量	T1	500	0.2	1.5
3	精车左端外轮廓	T1	700	0.1	0.1
4	车退刀槽	T2	300	0.08	4
5	车外螺纹	T3	400	1.5	—
6	将件 2 拧在件 1 上，调头装夹，车端面	T1	500	0.2	1.5
7	粗车右端外轮廓，留 0.2mm 余量	T1	500	0.2	1.5
8	精车右端外轮廓	T1	700	0.1	0.1

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，件 1 数控加工参考程序见表 3-50、表 3-51，件 2 数控加工参考程序见表 3-52、表 3-53。

表 3-50 件 1 数控加工参考程序（左端）

程序	说明
SK4301.MPF	主程序名（件 1 左端）
N10 G54 G90 G71 G95	设置初始状态
N20 M03 S500 F0.2 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N30 G00 X54 Z5	
N40 _CNAME=“L1”	轮廓子程序名
N50 R105=1 R106=0.2 R108=1.5 R109=0 R110=0.5 R111=0.2 R112=0.1	设置循环参数
N60 LCYC95	调用固定循环粗加工外轮廓
N70 G00 X100 Z200	
N80 T1 D1	重新调用 1 号外圆车刀
N90 M03 S700 F0.1	
N100 R105=5 R106=0	
N110 LCYC95	精车轮廓
N120 G00 X100 Z200	
N130 M05	
N140 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（件 1 左端外轮廓）
N10 G01 X0 Z0	
N20 X45.969	
N30 X47.969 Z-1	
N40 Z-17	
N50 X54	
N60 M17	子程序结束

表 3-51 件 1 数控加工参考程序（右端）

程　　序	说　　明
SK4302.MPF	主程序名（件 1 右端）
N10 G54 G90 G71 G95	设置初始状态
N20 M03 S500 F0.2 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N30 G00 X56 Z5	
N40 _CNAME=“L2”	轮廓子程序名
N50 R105=1 R106=0.1 R108=1 R109=0 R110=0.5 R111=0.2 R112=0.1	设置循环参数
N60 LCYC95	调用固定循环粗加工外轮廓
N70 G00 X44 Z-10	
N80 G01 X40.4 F0.2	
N90 G02 Z-30 CR=25	
N100 G01 X44	
N110 G00 X100 Z200	
N120 T1 D1	重新调用 1 号外圆车刀
N130 M03 S700 F0.1	
N140 G00 X0 Z5	
N150 G01 Z0	
N160 X35.969	
N170 X39.969 Z-2	
N180 Z-10	
N190 G02 Z-30 CR=25	
N200 G01 Z-63.95 RND=3	
N210 X54	
N220 G00 X100 Z200	
N230 T2 D1	调用 2 号切槽刀
N240 M03 S300	
N250 G00 Z-60 X44	
N260 G01 X36 F0.08	切槽
N270 G04 F2	
N280 G01 X44	
N290 G00 Z-58	
N300 G01 X36	切槽，保证槽宽
N310 G04 F2	
N320 G01 X44	
N330 G00 X100 Z200	刀具退至换刀点
N340 T4 D1	调用 4 号内孔车刀
N350 M03 S500	
N360 G00 X0 Z5	
N370 _CNAME=“L3”	轮廓子程序名
N380 R105=3 R106=0.2 R108=1.5 R109=0 R110=0.5 R111=0.2 R112=0.1	设置循环参数
N390 LCYC95	调用固定循环粗加工内轮廓
N400 G00 Z200	
N410 X100	
N420 T4 D1	重新调用 4 号内孔车刀
N430 M03 S700	
N440 R105=7 R106=0	重新设定加工方式参数
N450 LCYC95	调用固定循环精加工内轮廓
N460 T5 D1	调用 5 号内切槽刀
N470 M03 S300	
N480 G00 X15 Z5	
N490 G01 Z-31 F0.3	

（续）

程　　序	说　　明
N500 X25 F0.08	切内沟槽
N510 G04 F2	
N520 G01 X15	
N530 G00 Z-29	控制槽宽
N540 G01 X25	切内沟槽
N550 G04 F2	
N560 G01 X15	
N570 G00 Z200	
N580 X100	
N590 T6 D1	调用 6 号内螺纹车刀
N600 G00 X15 Z5	螺纹加工循环起点
N610 R100=22.05 R101=0 R102=22.05 R103=-25 R104=1.5 R105=2 R106=0.1 R109=2 R110=1 R111=0.975 R112=0 R113=4 R114=1	设定循环参数
N620 LCYC97	调用固定循环加工内螺纹
N630 G00 Z200	
N640 X100	
N650 M05	
N660 M30	程序结束
L2.SPF	子程序名（件 1 右端外轮廓）
N10 G01 X0 Z0	
N20 X35.969	
N30 X39.969 Z-2	
N40 Z-63.95 RND=3	
N50 X54	
N60 M17	子程序结束
L3.SPF	子程序名（件 1 右端内轮廓）
N10 G01 X30.085 Z0	
N20 X26.085 Z-2	
N30 Z-8	
N40 X25.5	
N50 X22.5 Z-9.5	
N60 Z-31	
N70 X15.5	
N80 M17	子程序结束

表 3-52　件 2 数控加工参考程序（左端）

程　　序	说　　明
SK4303.MPF	主程序名（件 2 左端）
N10 G54 G90 G71 G95	设置初始状态
N20 M03 S500 F0.2 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N30 G00 X56 Z5	
N40 _CNAME=“L4”	轮廓子程序名
N50 R105=1 R106=0.2 R108=1.5 R109=0 R110=0.5 R111=0.2 R112=0.1	设置循环参数
N60 LCYC95	调用固定循环粗加工外轮廓
N70 G00 X100 Z200	
N80 T1 D1	重新调用 1 号外圆车刀
N90 M03 S700 F0.1	
N100 R105=7 R106=0	重新设定加工方式参数

（续）

程　　序	说　　明
N110 LCYC95	调用固定循环精加工内轮廓
N120 G00 X100 Z200	
N130 T2 D1	调用 2 号切槽刀
N140 M03 S300	
N150 G00 X28 Z-17.5	
N160 G01 X20 F0.08	切槽
N170 G04 F2	
N180 G01 X30	
N190 G00 X100 Z200	
N200 T3 D1	调用 3 号外螺纹车刀
N210 M03 S400	
N220 G00 X26 Z5	
N230 R100=24 R101=0 R102=24 R103=-13.5 R104=1.5 R105=1 R106=0.1 R109=2 R110=2 R111=0.975 R112=0 R113=4 R114=1	设定循环参数
N240 LCYC97	调用固定循环加工螺纹
N250 G00 X100 Z200	
N260 M05	
N270 M30	程序结束
L4.SPF	子程序名（件 2 左端外轮廓）
N10 G01 X0 Z0	
N20 X19.85	
N30 X23.85 Z-2	
N40 Z-17.5	
N50 X25.947	
N60 Z-24.95	
N70 X56	
N80 M17	子程序结束

表 3-53　件 2 数控加工参考程序（右端）

程　　序	说　　明
SK4304.MPF	主程序名（件 2 右端）
N10 G54 G90 G71 G95	设置初始状态
N20 M03 S500 F0.2 T1 D1	调用 1 号外圆车刀
N30 G00 X56 Z5	
N40 _CNAME=“L4”	轮廓子程序名
N50 R105=1 R106=0.2 R108=1.5 R109=0 R110=0.5 R111=0.2 R112=0.1	设置循环参数
N60 LCYC95	调用固定循环粗加工外轮廓
N70 G00 X100 Z100	
N80 T1 D1	重新调用 1 号外圆车刀
N90 M03 S700 F0.1	
N100 R105=7 R106=0	重新设定加工方式参数
N110 LCYC95	调用固定循环精加工外轮廓
N120 G00 X100 Z200	
N130 M05	
N140 M30	程序结束
L4.SPF	子程序名（件 2 右端外轮廓）
N10 G01 X0 Z0	
N20 X24	

（续）

程　　序	说　　明
N30 X36 Z-19.95	
N40 X49.95 RND=5	
N50 Z-31	
N60 X54	
N70 M17	子程序结束

3.8.2　实例 44——配合类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

该配合件（图 3-23）件 1 由内外圆柱、外圆锥、外圆弧、外沟槽、外螺纹和内圆锥、内圆柱及倒角组成。件 2 由外椭圆曲线和内圆锥、内沟槽、内螺纹、内圆柱面组成。加工时，应先将件 2 的内圆锥、内圆柱面采用 LCYC95 编程加工，内螺纹采用 LCYC97 编程加工；将件 2 切下，采用 LCYC95 加工件 1 左侧内轮廓，并加工两个外沟槽；调头装夹件 1，采用 LCYC95 加工件 1 其余外圆柱及圆锥、圆弧、倒角，LCYC97 加工外螺纹；最后在件 1 不拆除的情况下将件 2 与件 1 配合，采用可编程零点偏置和参数编程配合的方法加工椭圆曲线。

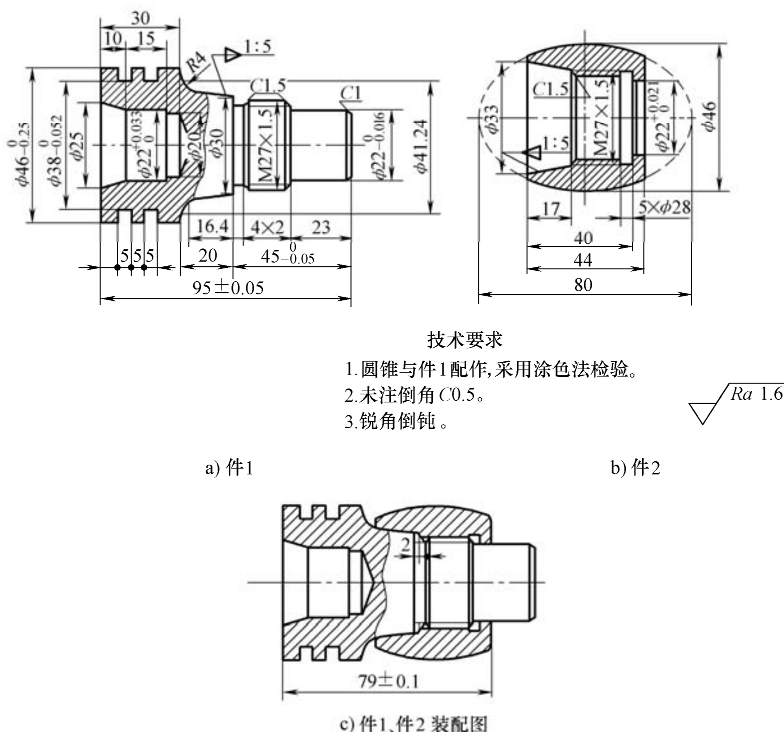


图 3-23　实例 44 零件图与装配图

（1）圆锥尺寸计算　采用数学计算或者借助计算机辅助绘图可知，件 2 圆锥小端尺寸为 29.6mm，件 1 圆锥大端尺寸为 33.28mm。

（2）螺纹尺寸计算

内螺纹底孔直径 $D_1 = D - P = (27 - 1.5)\text{mm} = 25.5\text{mm}$

内螺纹牙高 $H_3 = 0.54P = 0.54 \times 1.5\,\text{mm} = 0.81\text{mm}$

外螺纹牙高 $h = 0.65P = 0.65 \times 1.5\,\text{mm} = 0.975\text{mm}$

（3）椭圆曲线相关计算

1）椭圆曲线起点坐标计算。椭圆曲线的方程坐标系零点设置在椭圆曲线对称中心点上，根据件 2 零件图给出的尺寸，可知椭圆曲线方程为 $\dfrac{Z^2}{40^2}+\dfrac{X^2}{23^2}=1$。

已知椭圆曲线起点 $Z_{方程}=22$，则椭圆曲线起点 $X_{方程}=23\times\sqrt{40^2-22^2}\,/\,40=19.21$

2）椭圆曲线终点坐标计算。从件 2 零件图可以看出，被加工的椭圆曲线部分左右对称，因此，椭圆曲线终点坐标为 $X_{方程}=19.21$，$Z_{方程}=-22$。

3）椭圆曲线方程坐标与工件坐标关系：$X_{工件}=2X_{方程}$，$Z_{工件}=Z_{方程}-22$

2．刀具与切削用量选择

根据加工要求，选择 1 号刀为内孔镗刀、2 号刀为宽 3mm 的内沟槽刀、3 号刀为内螺纹刀、4 号刀为 93° 外圆车刀、5 号刀为宽 3mm 的切槽刀、6 号刀为内螺纹车刀、7 号刀为尖形外圆车刀，共 7 把刀。其次，选用 ϕ18mm 麻花钻一把，用于钻内孔。

零件毛坯为 ϕ50mm×135mm 的棒料，加工材料为 45 钢，切削用量的选择见表 3-54。

表 3-54 切削用量选择

操作序号	工步内容	切削用量		
		主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
1	用自定心卡盘夹持毛坯外圆，伸出长约 55mm，找正后夹紧	—	—	—
2	手动车端面、外圆，对刀	500	0.2	—
3	ϕ18mm 钻头钻孔	300	—	—
4	内孔刀具镗内孔，对刀	500	0.2	—
5	粗车件 2 内轮廓，预留精加工余量 0.3mm	500	0.2	1.5
6	精车件 2 内轮廓达尺寸要求	800	0.1	0.3
7	加工内沟槽	500	0.1	3
8	加工内螺纹	500	1.5	—
9	工件精度检测	—	—	—
10	切断	500	0.1	3
11	夹持毛坯外圆，伸出长约 40mm，找正后夹紧	—	—	—
12	手动车端面、外圆，对刀	500	0.2	—
13	粗车件 1 左侧内轮廓，预留精加工余量 0.3mm	500	0.2	1.5
14	精车件 1 左侧内轮廓达尺寸要求	800	0.1	0.3
15	粗加工件 1 左侧 ϕ46mm 外圆	500	0.2	1.7
16	精加工件 1 左侧 ϕ46mm 外圆	1200	0.1	0.3
17	加工外沟槽	300	0.1	3
18	工件精度检测	—	—	—
19	调头装夹已加工表面 ϕ46mm，找正夹紧	—	—	—
20	平端面，保总长，对刀	500	0.2	—

（续）

操作序号	工步内容	切削用量		
		主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/r）	背吃刀量 /mm
21	粗车件 1 右侧外轮廓，预留精加工余量 0.3mm	500	0.2	2
22	精车件 1 右侧外轮廓达尺寸要求	1200	0.1	0.3
23	车外沟槽	500	0.1	3
24	车外螺纹	500	1.5	—
25	粗车椭圆曲线外轮廓	500	0.2	2
26	精车椭圆外轮廓	1200	0.1	0.3
27	工件精度检测	—	—	—

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802S/C 系统的数控车床上加工，件 1 数控加工参考程序见表 3-56、表 3-57，件 2 数控加工参考程序见表 3-55、表 3-58。

表 3-55　件 2 数控加工参考程序（内轮廓）

程序	说明
SK4401.MPF	主程序名（件 2 内轮廓）
N10 T1 D1	调用 1 号内镗孔刀
N20 M03 S500	
N30 G00 X18 Z2	
N40 _CNAME="L1"	轮廓子程序名
N50 R105=3 R106=0.3 R108=1.5 R109=0 R110=1 R111=0.3 R112=0.1	设定循环参数，预留精加工余量 0.3mm
N60 LCYC95	调用固定循环粗加工内轮廓
N70 G00 Z100	
N80 X100	
N90 T1 D1	重新调用 1 号内镗孔刀
N100 M03 S800	
N110 G00 X18 Z2	
N120 R105=7	重新设定加工方式
N130 LCYC95	调用固定循环精加工内轮廓
N140 GOO Z100	
N150 X00	
N160 T2 D1	调用 2 号内沟槽刀
N170 M03 S500	
N180 G00 X25 Z2	
N190 Z-40	
N200 G01 X28 F0.1	沿径向切槽
N210 X25	
N220 Z-38	
N230 X28	沿径向切槽
N240 X25	
N250 G00 Z2	
N260 X100 Z100	
N270 T3 D1	调用 3 号内螺纹刀
N280 M02 S500	
N290 G00 X25 Z2	
N300 Z-15	
N310 R100=25.5 R101=-17 R102=25.5 R103=-35 R104=1.5 R105=2 R106=0.02 R109=2 R110=2 R111=0.81 R112=0 R113=10 R114=1	设定循环参数

（续）

程　　序	说　　明
N320 LCYC97	调用循环加工内螺纹
N330 G00 Z100	
N340 X100	
N350 M05	
N360 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（件 2 内轮廓）
N10 G00 G41 X33 Z1	
N20 G01 Z0	
N30 X29.6 Z-17	内圆锥加工
N40 X28.5	端面加工
N50 X25.5 Z-18.5	*C*1.5mm 倒角加工
N60 Z-40	螺纹底孔加工
N70 X23	端面加工
N80 X22 Z-40.5	*C*0.5mm 倒角加工
N90 Z-45	ϕ22mm 内孔加工
N100 G40 X18	
N110 M17	子程序结束

表 3-56　件 1 数控加工参考程序（左侧内、外轮廓）

程　　序	说　　明
SK4402.MPF	主程序名（件 1 左侧内、外轮廓）
N10 T1 D1	调用 1 号内镗孔刀
N20 M03 S500	
N30 G00 X18 Z2	
N40 _CNAME="L2"	轮廓子程序名
N50 R105=3 R106=0.3 R108=1.5 R109=0 R110=1 R111=0.3 R112=0.1	设定循环参数，预留精加工余量 0.3mm
N60 LCYC95	调用固定循环粗加工外轮廓
N70 G00 Z100	
N80 X100	
N90 T1 D1	重新调用 1 号内镗孔刀
N100 M03 S800	
N110 G00 X18 Z2	
N120 R105=7	重新设定加工方式
N130 LCYC95	调用固定循环精加工外轮廓
N140 G00 Z100	
N150 X100	
N160 T4 D1	调用 4 号外圆车刀
N170 M03 S500 F0.3	
N180 G00 X46.6 Z2	
N190 G01 Z-31	粗车ϕ46mm 外圆
N200 X47	
N210 G00 Z2	
N220 M03 S1200 F0.1	
N230 G00 X46 Z2	
N240 G01 Z-31	车ϕ46mm 外圆
N250 G00 X50	
N260 Z100	
N270 T5 D1	调用 5 号外沟槽刀
N280 M03 S500 F0.1	
N290 G00 X48 Z2	
N300 Z-12	沿轴向快速进刀至切槽位置

（续）

程　序	说　明
N310 R100=46 R101=-12 R105=1 R106=0.1 R107=3 R108=2 R114=5 R115=4 R116=0 R117=0 R118=0 R119=1	设定切槽循环参数
N320 LCYC95	调用切槽循环
N330 G00 Z-22	刀具定位至切槽位置
N340 R101=-22	改变切槽位置参数
N350 LCYC93	再次调用切槽循环
N360 G00 X100 Z100	
N370 M05	
N380 M30	程序结束
L2.SPF	子程序名（件 1 左侧内轮廓）
N10 G00 G42 X25 Z1	
N20 G01 Z0	使刀具移至端面
N30 X22 Z-10	内圆锥加工
N40 Z-25	ϕ22mm 内孔加工
N50 X20	端面加工
N60 Z-30	ϕ20mm 内孔加工
N70 G40 G00 X18	
N80 M17	子程序结束

表 3-57　件 1 数控加工参考程序（右侧）

程　序	说　明
SK4403.MPF	主程序名（件 1 右侧）
N10 T4 D1	调用 4 号外圆车刀
N20 M03 S500	
N30 G00 X50 Z2	
N40 _CNAME="L3"	轮廓子程序名
N50 R105=1 R106=0.3 R108=2 R109=0 R110=1 R111=0.3 R112=0.1	设定循环参数，预留精加工余量 0.3mm
N60 LCYC95	调用固定循环粗加工外轮廓
N70 G00 X100 Z100	
N80 T4 D1	重新调用 4 号外圆车刀
N90 M03 S1200	
N100 G00 X50 Z2	
N110 R105=5	重新设定加工方式
N120 LCYC95	调用固定循环精加工外轮廓
N130 G00 X100 Z100	
N140 T5 D1	调用 5 号外沟槽刀
N150 M03 S500	
N160 G00 X32 Z2	
N170 Z-45	
N180 G01 X23 F0.1	沿径向切槽
N190 X32	
N200 Z-44	
N210 X23	沿径向切槽
N220 X32	
N230 G00 X100 Z100	
N240 T6 D1	调用 6 号外螺纹刀
N250 M03 S500	
N260 G00 X28 Z2	
N270 R100=27 R101=-23 R102=25.5 R103=-35 R104=1.5 R105=1 R106=0.02 R109=2 R110=2 R111=0.975 R112=0 R113=10 R114=1	设定循环参数
N280 LCYC97	调用循环加工外螺纹

（续）

程　　序	说　　明
N290 G00 X100 Z100	
N300 M05	
N310 M30	程序结束
L3	子程序名（件 1 右侧外轮廓）
N10 G00 G42 X20 Z1	
N20 G01 Z0	使刀具移至端面
N30 X22 Z-1	*C*1mm 倒角加工
N40 Z-23	ϕ22mm 外圆加工
N50 X24	端面加工
N60 X26.85 Z-24.5	*C*1.5mm 倒角加工
N70 Z-45	外螺纹大径加工
N80 X30	端面加工
N90 X33.28 Z-61.4	圆锥加工
N100 G02　X41.24 Z-65 CR=3	*R*3mm 圆弧加工
N110 G01 G40 X50	
N120 M17	子程序结束

表 3-58　件 2 数控加工参考程序（外轮廓）

程　　序	说　　明
SK4404.MPF	主程序名（件 2 外轮廓）
N10 T7 D1	调用 7 号尖形外圆刀
N20 M03 S500 F0.3	
N30 G00 X50 Z2	
N40 R1=4.3	定义参数：最大余量，并赋初值
N50 AA1:G158 X=R1	跳转目标，可编程零点偏置将工件坐标系进行偏移
N60 L4	调用轮廓子程序粗加工
N70 R1=R1-2	自变量自减背吃刀量
N80 IF R1>=0.3 GOTOB AA1	跳转条件
N90 G00 X100 Z100	
N100 T7 D1	重新调用 7 号尖形外圆刀
N110 M03 S1200 F0.1	
N120 G00 X50 Z2	
N130 G158	取消可编程零点偏置
N140 L4	再次调用轮廓子程序精加工轮廓
N150 G00 X100 Z100	
N160 M05	
N170 M30	程序结束
L4.SPF	子程序名（件 2 椭圆曲线）
N10 R10=22	定义参数：椭圆方程坐标系 *Z* 向坐标，并赋初值
N20 AA2:R20=23/40*SQRT（40*40-R1*R1）	定义参数：椭圆方程坐标系 *X* 向坐标，并赋表达式
N30 R30=R10-22	定义参数：椭圆工件坐标系 *Z* 向坐标，并赋表达式
N40 R40=2*R20	定义参数：椭圆工件坐标系 *X* 向坐标，并赋表达式
N50 G42 G01 X=R40 Z=R30	直线插补，短直线连接曲线各离散点
N60 R10=R10-0.1	自变量参数自加
N70 IF R10>=-22 GOTOB AA2	曲线加工跳转条件
N80 G01 X47	沿径向抬刀
N90 G00 G40 Z2	沿轴向退回曲线加工起点
N100 M17	子程序结束

第 2 篇

数控铣床（加工中心）编程实例

- 数控铣床（加工中心）编程基础
- FANUC 数控铣床（加工中心）编程实例
- SIEMENS 数控铣床（加工中心）编程实例

第 4 章 数控铣床（加工中心）编程基础

4.1 数控铣床（加工中心）概述

4.1.1 数控铣床（加工中心）的功能及特点

数控铣床主要采用铣削方式加工工件，其加工功能很强，能完成各种平面、沟槽、螺旋槽、成形表面、平面曲线、空间曲线等复杂型面的加工。配上相应的刀具后，数控铣床还可以对零件进行钻、扩、铰、锪孔和镗孔加工及攻螺纹等。图 4-1 所示为数控铣床加工的典型零件。



图 4-1 数控铣床加工的典型零件

加工中心是在数控铣床的基础上发展起来的。早期的加工中心就是指匹配有自动换刀装置和刀库并能在加工过程中实现自动换刀的数控镗铣床。所以它和数控铣床有很多相似之处，但是它的结构和控制系统要比数控铣床复杂得多。加工中心主要用于箱体类零件和复杂曲面零件的加工。因为加工中心具有换刀功能及工作台自动交换装置（Automatic Tools Changer，ATC），故工件经一次装夹后，可以实现零件的铣、钻、镗、铰、攻螺纹等多工序的加工，从而大大提高了自动化程度和工作效率。图 4-2 所示为加工中心加工的典型零件。



图 4-2 加工中心加工的典型零件

由于数控铣床和加工中心有这样密切的联系，就一般的指令和功能而言，二者是相同的。加工中心适于加工形状复杂、加工内容多、要求较高，需多种类型的普通机床和众多

的工艺装备，且经多次装夹和调整才能完成加工的零件。其主要加工对象有下列几种。

（1）既有平面又有孔系的零件　加工中心具有自动换刀装置，在一次安装中，可以完成零件上平面的铣削，孔系的钻削、镗削、铰削、铣削及攻螺纹等多工步加工。加工的部位可以在一个平面上，也可以在不同的平面上。因此，既有平面又有孔系的零件是加工中心首选的加工对象，这类零件常见的有箱体类零件和盘、套、板类零件。如果加工部位集中在单一端面上的盘、套、板类零件，宜选择立式加工中心；如果加工部位不是位于同一方向表面上的零件，宜选择卧式加工中心。

（2）结构形状复杂、普通机床难加工的零件　主要表面由复杂曲线、曲面组成的零件，加工时，需要多坐标联动加工，这在普通机床上是难以甚至无法完成的，加工中心是加工这类零件的最有效的设备。最常见的典型零件有凸轮类、整体叶轮类、模具类（如锻压模具、铸造模具、注塑模具及橡胶模具等）。

（3）外形不规则的异形零件　异形零件是指支架、拨叉这一类外形不规则的零件，大多要点、线、面多工位混合加工。由于外形不规则，在普通机床上只能采取工序分散的原则加工，需用工装较多，周期较长。利用加工中心多工位点、线、面混合加工的特点，可以完成大部分甚至全部工序的内容。

（4）加工精度较高的中小批量零件　针对加工中心的加工精度高、尺寸稳定的特点，对加工精度较高的中小批量零件，选择加工中心加工，容易获得所要求的尺寸精度和形状及位置精度，并可得到很好的互换性。

4.1.2 数控铣床（加工中心）的分类

1．数控铣床的分类

（1）按主轴位置的不同分类　数控铣床按其主轴位置的不同分为三类：立式数控铣床、卧式数控铣床、立卧两用数控铣床。

立式数控铣床的主轴轴线垂直于水平面，其在数量上一直占据数控铣床的大多数，应用范围也最广。小型立式数控铣床一般都采用工作台移动、升降及主轴不动方式，与普通立式升降台铣床差不多；中型立式数控铣床一般采用纵向和横向工作台移动方式，且主轴沿垂向溜板上下运动；大型立式数控铣床因要考虑扩大行程、缩小占地面积及刚性等技术上的问题，往往采用龙门架移动式，其主轴可以在龙门架的横向与垂向溜板上运动，而龙门架则沿床身作纵向运动。图 4-3 所示为立式数控铣床。

卧式数控铣床与通用卧式铣床相同，其主轴轴线平行于水平面，为了扩大加工范围和扩充功能，卧式数控铣床通常采用增加数控转盘或万能数控转盘来实现 4、5 坐标加工。这样不但工件侧面上的连续回转轮廓可以加工出来，而且可以实现在一次安装中，通过转盘改变工位，进行“四面加工”。尤其是万能数控转盘（或工作台）可以把工件上各种不同角度或空间角度的加工面摆成水平来加工。这样，可以省去很多专用夹具或专用角度成形铣刀。图 4-4 所示为卧式数控铣床。

立卧两用数控铣床的主轴方向可以更换，能达到在一台机床上既可以进行立式加工，又可以进行卧式加工，而同时具备上述两类机床的功能，其使用范围更广，功能更全，选择加工对象的余地更大，且给用户带来不少方便，特别是当生产批量小、品种较多，又需要立、卧两种方式加工时，用户只需购买一台这样的机床就可以解决问题。



图 4-3 立式数控铣床



图 4-4 卧式数控铣床

（2）按控制系统的坐标轴数量分类 数控铣床按控制系统的坐标轴数量分为四类：2.5 轴、3 轴、4 轴、5 轴联动铣床。

2. 加工中心的分类

加工中心和数控铣床有很多相似之处，都能够进行铣削、钻削、镗削及攻螺纹等加工，其主要区别在于刀库和自动刀具交换装置。加工中心是一种备有刀库并能通过程序或手动控制自动更换刀具对工件进行多工序加工的数控机床。一般加工中心按主轴位置、换刀方式及工作台数量的不同进行分类：

（1）按其主轴位置的不同分类 加工中心按其主轴位置的不同分为立式加工中心（图 4-5）、卧式加工中心（图 4-6）和龙门式加工中心（图 4-7）三类。



图 4-5 立式加工中心

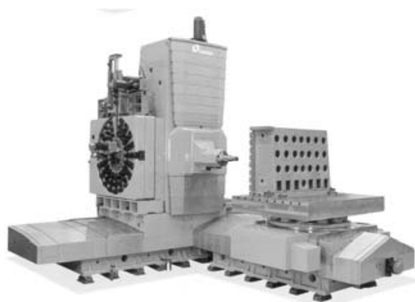


图 4-6 卧式加工中心

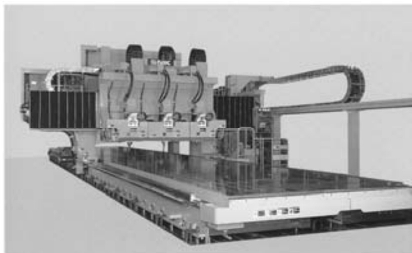


图 4-7 龙门式加工中心

（2）按换刀方式分类 加工中心按换刀方式分为带机械手、无机械手、转塔刀库加工中心三类。

（3）按工作台分类 加工中心按工作台数量分为单工作台、双工作台、多工作台加工中心三类。

4.2 数控铣削加工工艺基本知识

4.2.1 数控铣床（加工中心）的工件装夹

数控加工对夹具提出了两个基本要求：一是要保证夹具的坐标方向与机床的坐标方向相对固定；二是要能协调零件与机床坐标系的尺寸关系。除此之外，还要考虑以下几点：

1）当零件加工批量不大时，应尽量采用组合夹具、可调夹具和其他通用夹具，以缩短准备时间，节省生产费用。

2）在成批生产时才考虑采用专用夹具，并力求结构简单。

3）夹具要开敞，加工部位开阔，夹具的定位、夹紧机构元件不能影响加工中的进给（如产生碰撞等）。

4）装卸零件要快速、方便、可靠，以缩短准备时间，批量较大时应考虑采用气动或液压夹具、多工位夹具。

1. 定位基准的选择

为了提高数控机床的效率，在确定定位基准时应注意以下几点：

1）力求设计基准、工艺基准与编程计算的基准统一。

2）尽量减少装夹次数，尽可能在一次定位装夹后就能加工出全部待加工表面。

3）避免采用占机人工调整式方案，以充分发挥数控机床的效能。

2. 常用铣削夹具和装夹方法

在数控铣床与加工中心上加工工件时，常用的装夹方法有机用虎钳装夹、压板装夹、组合夹具装夹和专用夹具装夹。

（1）用机用虎钳装夹工件　采用机用虎钳装夹工件的方法，一般适合工件尺寸较小、形状比较规则、生产批量较小的情况。使用机用虎钳装夹工件时，应注意以下几个问题：

1）使用前要用千分表确认钳口与 X 轴或 Y 轴平行。

2）工件底面不能悬空，否则工件在受到切削力时位置可能发生变化，甚至可能发生打刀事故。安装时可在工件底下垫上等高垫铁，等高垫铁厚度根据工件的安装高度情况选择。夹紧时应边夹紧边用铜棒或胶锤将工件敲实。

3）需要加工通孔时，要注意垫铁的位置，防止加工时加工到垫铁。

4）在铣外轮廓时，要保证工件露出钳口部分足够高，以防止加工时铣到钳口。

5）批量生产时，应将固定钳口面确定为基准面，与固定钳口面垂直方向可在工作台上固定一挡铁作为基准。

（2）用压板装夹工件　采用压板装夹工件的方法，一般适合工件尺寸较大、工件底面较规则、生产批量较小的情况。使用压板装夹工件时，应注意以下几个问题：

1）工件装夹时，要注意确定基准边的位置，并用千分表进行找正。

2）需要加工通孔时，在工件底面要垫上等高垫铁，并要注意垫铁的位置，防止加工时加工到垫铁。

3）编程时就要考虑压板的位置，避免加工时碰到压板。如果工件的整个上面或四周都需要加工，可采用“倒压板”的方式进行加工，即先将压板附近的表面留下暂不加工，加工其他表面，等其他表面加工完成后，在保证原压板不松开的情况下，在已加工过的表面

再上一组压板并夹紧（如已加工表面怕划伤时，可在压板下面垫上铜皮），然后卸掉原压板，加工剩余表面。

4）压板的位置要和垫铁的位置上下一一对应，以防止工件夹紧变形。

（3）用专用夹具和组合夹具装夹工件　采用专用夹具装夹工件的方法，适合生产批量较大的情况。合理地设计和利用专用夹具，可大大提高生产效率和加工精度。

使用组合夹具装夹工件的方法，大小批量均可采用。组合夹具是针对不同加工对象重新组装后的，具有专用夹具的一些优点，因此近年来应用越来越广泛。

4.2.2　数控铣床（加工中心）的刀具

数控刀具的选择是数控加工工艺中的重要内容，它不仅影响数控机床的加工效率，而且直接影响加工质量。刀具的选择应根据机床的加工能力、工件材料的性能、加工工序、切削用量以及其他相关因素正确选用刀具及刀柄。

1. 分类及用途

数控铣床及加工中心的刀具必须适应数控机床高速、高效和自动化程度高的特点。刀具一般包括通用刀具、通用连接刀柄及少量专用连接刀柄。刀柄要连接刀具并装在机床动力头上，已逐渐标准化和系列化。数控刀具按其结构、材料和用途的不同可进行以下分类：

（1）根据刀具结构分类　根据刀具结构，数控刀具可分为整体式、镶嵌式、特殊形式。整体式和镶嵌式一般采用焊接或机夹式连接，其中机夹式又可分为不转位和可转位两种；特殊形式又可分为复合式刀具、减振式刀具等。

（2）根据制造刀具所用的材料分类　根据制造刀具所用的材料不同，数控刀具可分为高速钢刀具、硬质合金刀具、金刚石刀具、其他材料刀具（如立方氮化硼刀具、陶瓷刀具等）。

（3）根据切削用途分类　根据切削用途的不同，数控铣削刀具分为盘铣刀、立铣刀、键槽铣刀、成形铣刀、球头铣刀等，如图 4-8、图 4-9 所示。



a）盘铣刀　b）直柄立铣刀　c）锥柄立铣刀　d）键槽铣刀　e）球头铣刀

图 4-8　数控铣削刀具



图 4-9　数控成形铣刀

盘铣刀一般在盘状刀体上机夹刀片或刀头，常用于加工平面，尤其适合加工大面积平面。

立铣刀是数控加工中用得最多的一种铣刀，其圆柱形表面和端面上都有切削刃，它们

可同时进行切削，也可单独进行切削。立铣刀圆柱表面的切削刃为主切削刃，端面上的切削刃为副切削刃。

键槽铣刀有两个刀齿，圆柱面和端面都有切削刃，兼有钻头和立铣刀的功能。端面刃延至中心，加工时可先轴向进给达到槽深，然后再沿键槽方向铣出键槽全长。

球头铣刀适用于加工空间曲面零件，有时也用于平面类零件较大的转接凹圆弧的补加工。

数控成形铣刀一般都是为特定的工件或加工内容专门设计制造的，适用于加工平面类零件的特定形状（如角度面、凹槽面等），也适用于特形孔或台的加工。

鼓形铣刀主要用于对变斜角类零件的变斜角面的近似加工。

2．*刀具材料的选择*

当前使用的金属切削刀具材料主要有五类：高速钢、硬质合金、陶瓷、立方氮化硼（CBN）、聚晶金刚石。表 4-1 列出了各种刀具材料的特性和用途。

表 4-1　刀具材料的特性和用途

材　　料	主 要 特 性	用　　途	优　　点
高速钢（HSS）	比工具钢硬	低速或不连续切削	刀具寿命较长，加工的表面较平滑
高性能高速钢	强度和韧性好、抗边缘磨损性强	可粗切或精切几乎任何材料，包括铁、钢、不锈钢、高温合金、非铁和非金属材料	切削速度可比高速钢快，强度和韧性较粉末冶金高速钢好
粉末冶金高速钢	良好的抗热性和抗碎片磨损	可切削钢、高温合金、不锈钢、铝、碳素钢及合金钢和其他不易加工的材料	切削速度可比高性能高速钢快 15%
硬质合金	耐磨损，耐热	可锻铸铁、碳素钢、合金钢、不锈钢、铝合金的精加工	寿命比一般传统碳素钢长 20 倍
陶瓷	高硬度，耐热冲击性好	高速粗加工，铸铁和钢的精加工，也适合加工有色金属和非金属材料，不适合加工铝、镁、钛及其合金	高速切削速度可达 5000m/s
立方氮化硼（CBN）	超强硬度和耐磨性好	硬度大于 450 HBW 材料的高速切削	刀具寿命长
聚晶金刚石	超强硬度和耐磨性好	可粗切和精切铝等有色金属和非金属材料	刀具寿命长

根据数控加工对刀具的要求，选择刀具材料的一般原则是尽可能选用硬质合金刀具，但不同国家和生产厂家有不同的标准和系列。表 4-2 列出常见厂家和国家硬质合金的牌号。

表 4-2　各国硬质合金牌号近似对照

GB	ANSI	山 特 维 克	适合加工材料
P01	C8	F02	产生带状切屑的铁金属
P05		S1P	
P10		S1P	
P15	C7	S2	
P20		S2	
P25	C6	S4	
P30		S4	
P40	C5	S6	
P50		S8	
M10	—	H1P	产生节状切屑或粒状切屑的铁金属；非铁金属
M20		H1P	
M30			
M40		R4	

（续）

GB	ANSI	山 特 维 克	适合加工材料
K01	C4 C3 C2 C1	H05	产生粒状切屑或崩碎切屑的铁金属；非铁金属；非金属材料
K05			
K10		H10	
K20		H20	
K30		H20	
K40			

3．*加工中心的换刀装置与刀库*

加工中心备有刀库，并能自动更换刀具，可对工件进行多工序加工。工件经一次装夹后，数字控制系统能控制机床按不同工序，自动选择和更换刀具，自动改变机床主轴转速、进给量和刀具相对工件的运动轨迹及其他辅助机能，依次完成工件几个面上多工序的加工。加工中心由于工序的集中和自动换刀，减少了工件的装夹、测量和机床调整等时间，同时也减少了工序之间的工件周转、搬运和存放时间，缩短了生产周期，具有明显的经济效果。加工中心的自动换刀装置由存放刀具的刀库和换刀机构组成。

加工中心的刀库是自动换刀装置中最主要的部件之一，其容量、布局以及具体结构对数控机床的设计有很大影响。刀库的种类很多，常见的有盘式和链式两类。

（1）盘式刀库（图 4-10） 盘式刀库是最为常用的一种形式，其结构紧凑，取刀方便，但由于受圆盘尺寸的限制，容量相对较小，一般有 1～24 把刀具，主要适用于小型加工中心。

（2）链式刀库（图 4-11） 刀库容量大，一般有 1～100 把刀具，选刀和取刀的动作较为简单，当链条较长时，可增加支撑链轮的数目，使链条折叠回绕，提高了空间利用率，主要适用于大中型加工中心。



图 4-10 盘式刀库

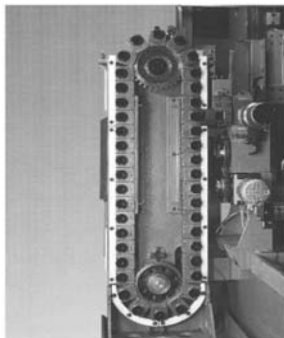


图 4-11 链式刀库

4.2.3 数控铣床（加工中心）加工工艺的制订

同常规工艺路线拟定过程相似，数控加工工艺路线的设计，最初也需要找出所有加工的零件表面，并逐一确定各表面的加工获得过程，加工获得过程中的每一步骤相当于一个工步。然后将所有工步内容按一定原则排列先后顺序，再确定哪些相邻工步可以划为一个工序，即进行工序的划分。最后将需要的其他工序如常规工序、辅助工序、热处理工序等插入，衔接于数控加工工序序列之中，就得到了要求的工艺路线。

数控加工的工艺路线设计与普通机床加工的常规工艺路线拟定的区别主要在于，它仅

是几道数控加工工艺过程的概括，而不是指从毛坯到成品的整个工艺过程，由于数控加工工序一般穿插于零件加工的整个工艺过程中间，因此在工艺路线设计中一定要兼顾常规工序的安排，使之与整个工艺过程协调吻合。

1. 工序的划分

根据数控加工的特点，数控加工工序的划分有以下几种方式：

（1）按定位方式划分工序　这种方法一般适合于加工内容不多的工件，加工完后就能达到待检状态。通常以一次安装、加工作为一道工序。

（2）刀具集中分序法　这种方法就是按所用刀具来划分工序，用同一把刀具加工完成所有可以加工的部位，然后再换刀。这种方法可以减少换刀次数，缩短辅助时间，减少不必要的定位误差。

（3）粗、精加工分序法　根据零件的形状、尺寸精度等因素，按粗、精加工分开的原则，先粗加工，再半精加工，最后精加工。

（4）按加工部位分序法　即先加工平面、定位面，再加工孔；先加工形状简单的几何形状，再加工复杂的几何形状；先加工精度比较低的部位，再加工精度比较高的部位。

综上所述，在划分工序时，一定要视零件的结构与工艺性、机床的功能、零件数控加工内容的多少、安装次数以及生产组织状况等实际情况灵活掌握。

2. 工步的划分

划分工步主要从加工精度和效率两方面考虑。合理的工艺不仅要保证加工出符合图样要求的工件，同时应使机床的功能得到充分发挥，因此在一个工序内往往需要采用不同的刀具和切削用量，对不同的表面进行加工。为了便于分析和描述较复杂的工序，在工序内又细分为工步。下面以加工中心为例来说明工步划分的原则：

1）同一加工表面按粗加工、半精加工、精加工依次完成，或全部加工表面按先粗后精加工分开进行。若加工尺寸精度要求较高时，考虑到零件尺寸、精度、刚性等因素，可采用前者。若加工表面位置精度要求较高时，建议采用后者。

2）对于既有面又有孔的零件，可以采用“先面后孔”的原则划分工步。先铣面可提高孔的加工精度。因为铣削时切削力较大，工件易发生变形，而先铣面后镗孔，则可使其变形有一段时间的恢复，减少由于变形引起的对孔的精度的影响。反之，如果先镗孔后铣面，则铣削时极易在孔口产生飞边，从而破坏孔的精度。

3）按所用刀具划分工步　某些机床工作台回转时间比换刀时间短，可采用刀具集中工步，以减少换刀次数，减少辅助时间，提高加工效率。

4）在一次安装中，尽可能完成所有能够加工的表面。

3. 加工顺序的安排

加工顺序的安排应根据零件的结构和毛坯状况，结合定位和夹紧的需要一起考虑，重点应保证工件的刚度不被破坏，尽量减少变形。加工顺序的安排应遵循下列原则：

1）上道工序的加工不能影响下道工序的定位与夹紧。

2）先内后外原则，即先进行内型、内腔加工工序，后进行外形加工工序。

3）以相同安装方式或用同一刀具加工的工序，最好连续进行，以减少重复定位次数及换刀次数。

4）在同一次安装中进行的多道工序，应先安排对工件刚性破坏较小的工序。

4. 确定刀具的进给路线

在数控加工中，刀具刀位点相对于工件运动的轨迹称为进给路线。进给路线不仅包括加工内容，而且反映出加工顺序，是编程的依据之一。

确定进给路线的原则有：①加工路线应保证被加工工件的精度和表面粗糙度；②应使加工路线最短，以减少空行程时间，提高加工效率；③在满足工件精度、表面粗糙度、生产率等要求的情况下，尽量简化数学处理时的数值计算工作量，以简化编程工作；④当某段进给路线重复使用时，为了简化编程、缩短程序长度，应使用子程序。

此外，确定加工路线时，还要考虑工件的形状与刚度、加工余量大小，机床与刀具的刚度等情况，以确定是一次进给还是多次进给来完成加工，以及设计刀具的切入与切出方向和在铣削加工中是采用顺铣还是逆铣等。

（1）轮廓铣削进给路线的分析　对于连续铣削轮廓，特别是加工圆弧时，要注意安排好刀具的切入、切出，要尽量避免交接处重复加工，否则会出现明显的界限痕迹。如图 4-12 所示，用圆弧插补方式铣削外整圆时，要安排刀具从切向进入圆周铣削加工，当整圆加工完毕后，不要在切点处直接退刀，而让刀具多运动一段距离，最好沿切线方向，以免取消刀具补偿时，刀具与工件表面相碰撞，造成工件报废。铣削内圆弧时，也要遵守从切向切入的原则，安排切入、切出过渡圆弧，如图 4-13 所示，若刀具从工件坐标原点出发，其加工路线为 1→2→3→4→5，这样来提高内孔表面的加工精度和质量。

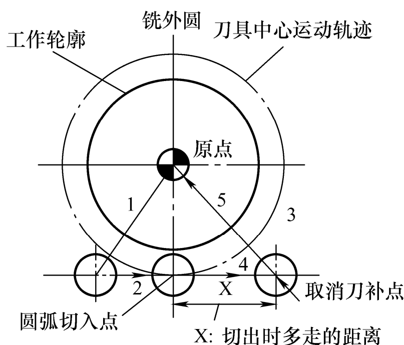


图 4-12　铣削外圆进给路线

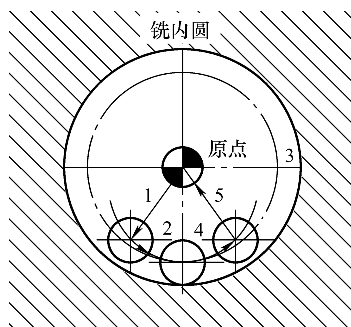


图 4-13　铣削内孔进给路线

（2）位置精度要求高的孔进给路线的分析　加工位置精度要求较高的孔系时，应特别注意安排孔的加工顺序。若安排不当，将坐标轴的反向间隙带入，直接影响位置精度。如图 4-14 所示，镗削图中零件上六个尺寸相同的孔，有两种进给路线。按 1→2→3→4→5→6 路线加工时，由于 5、6 孔与 1、2、3、4 孔定位方向相反，*Y* 向反向间隙会使定位误差增加，而影响 5、6 孔与其他孔的位置精度。按 1→2→3→4→*P*→6→5 路线加工时，加工完 4 孔后往上多移动一段距离至 *P* 点，然后折回来在 6、5 孔处进行定位加工，这样加工进给方向一致，可避免反向间隙的引入，提高 5、6 孔与其他孔的位置精度。

进给路线包括在 *XY* 平面上的进给路线和 *Z* 向的进给路线。欲使刀具在 *XY* 平面上的进给路线最短，必须保证各定位点间的路线的总长最短。图 4-15a 所示为点群零件图，经计算发现图 4-15c 所示进给路线总长较图 4-15b 短。

（3）铣削曲面的进给路线分析　铣削曲面时，常用球头刀采用“行切法”进行加工。行切法是指刀具与零件轮廓的切点轨迹是一行一行的，而行间的距离是按零件加工精度的要求

确定。对于边界敞开的曲面加工，可采用两种加工路线。如图 4-16 所示，对于发动机大叶片，当采用图 4-16a 的加工方案时，每次沿直线加工，刀位点计算简单，程序少，加工过程符合直纹面的形成，可以准确保证母线的直线度。当采用图 4-16b 的加工方案时，符合这类零件数据给出情况，便于加工后检验，叶形的准确度高，但程序较多。由于曲面零件的边界是敞开的，没有其他表面限制，所以曲面边界可以延伸，球头刀应从边界外开始加工。

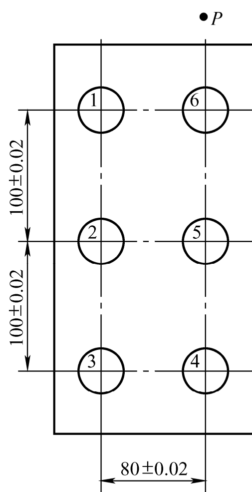


图 4-14　孔系加工

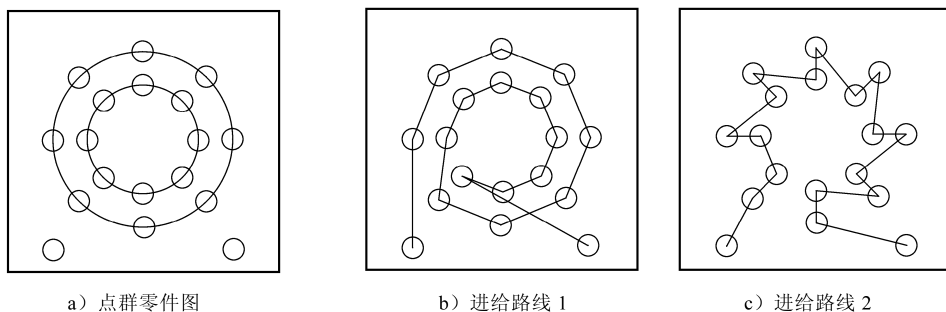


图 4-15　最短进给路线设计

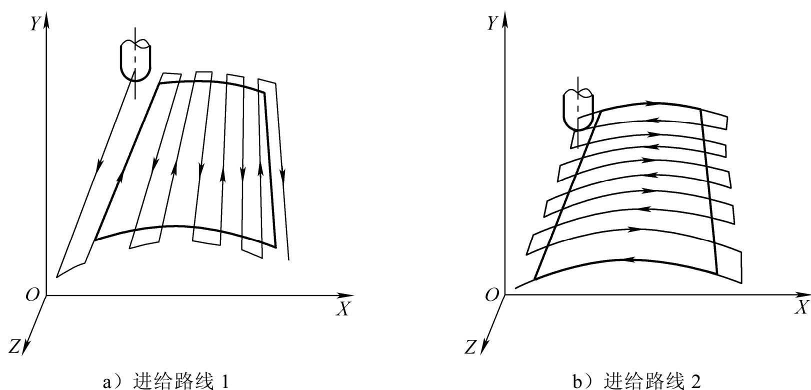
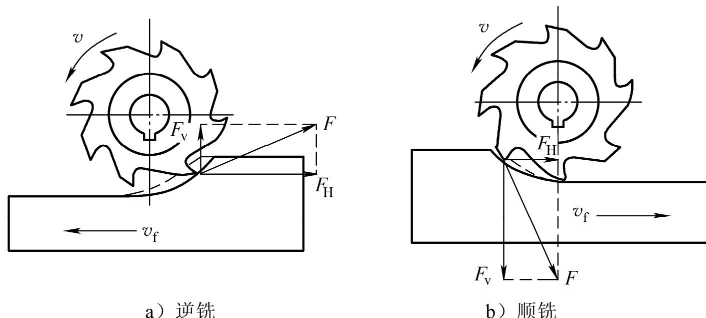


图 4-16　曲面加工的进给路线

实际生产中，进给路线的确定要根据零件的具体结构特点，综合考虑，灵活运用。确定进给路线的总原则是：在保证零件加工精度和表面质量的条件下，尽量缩短进给路线，以提高生产率。

（4）逆铣和顺铣　铣削方式有逆铣和顺铣两种方式。如图 4-17 所示，铣刀旋转切入工件的方向与工件的进给方向相反时称为逆铣，相同时称为顺铣。



a）逆铣　　b）顺铣

图 4-17　顺铣与逆铣

逆铣时，切削厚度由零逐渐增大，切入瞬时切削刃钝圆半径大于瞬时切削厚度，刀齿在工件表面上要挤压和滑行一段后才能切入工件，使已加工表面产生冷硬层，加剧了刀齿的磨损，同时使工件表面粗糙不平。此外，逆铣时刀齿作用于工件的垂直进给力 *F* 朝上，有抬起工件的趋势，这就要求工件装夹牢固。逆铣时，刀齿从切削层内部开始工作，当工件表面有硬皮时，对刀齿没有直接影响。

顺铣时，刀齿的切削厚度从最大开始，避免了挤压、滑行现象，并且垂直进给力 *F* 朝下，压向工作台，有利于工件的夹紧，可提高铣刀寿命和加工表面质量。与逆铣相反，顺铣加工要求工件表面没有硬皮，否则刀齿很易磨损。

对于铝镁合金、钛合金和耐热合金等材料来说，建议采用顺铣加工，这对降低表面粗糙度值和提高刀具寿命都有利。但如果零件毛坯为黑色金属锻件或铸件，表皮硬且余量一般较大，这时采用逆铣较为有利。

4.2.4　数控铣削切削用量的选择

切削用量是加工过程中重要的组成部分，合理地选择切削用量，不但可以提高切削效率，而且还可以提高零件的表面精度。影响切削用量的因素有机床的刚度、刀具寿命、工件的材料、切削液等。

1. 铣削用量的选择

铣削用量的选择是否合理直接影响工件加工质量、生产效率和刀具寿命。合理选择铣削用量的原则是：粗加工时，一般以提高生产率为主，但也应考虑经济性和加工成本；半精加工和精加工时，应在保证加工质量的前提下，兼顾铣削效率、经济性和加工成本，具体数值应根据机床说明书、铣削用量手册，并结合经验而定。

确定铣削深度时，如果机床功率和工艺系统刚性允许而加工质量要求不高（*Ra* 值不小于 5μm），且加工余量又不大（一般不超过 6mm）时，可以一次铣去全部余量；若加工质量要求较高或加工余量太大，铣削则应分两次进行。在工件宽度方向上，一般应将余量一次切除。

加工条件不同，选择的铣削速度 v_c 和每齿进给量 f_z 也应不同。工件材料较硬时，f_z 及 v_c 值应取得小些；刀具材料韧性较大时，f_z 值可取得大些；刀具材料硬度较高时，v_c 的值可取得大些；铣削深度较大时，f_z 及 v_c 值应取得小些。

各种铣削条件下的 f_z、v_c 值及计算公式可查阅《金属机械加工工艺手册》或相关刀具提供商的刀具手册等有关资料。

2. 钻削用量的选择

（1）钻头直径　钻头直径由工艺尺寸确定。孔径不大时，可将孔一次钻出。工件孔径大于 35mm 时，若仍一次钻出孔径，往往由于受机床刚度的限制，必须大大减小进给量。若两次钻出，可取大的进给量，既不降低生产效率，又提高了孔的加工精度。先钻后扩时，钻孔的钻头直径可取孔径的 50%～70%。

（2）进给量　进给量的选择，小直径钻头主要受钻头的刚性及强度限制，大直径钻头主要受机床进给机构强度及工艺系统刚性限制。在以上条件允许的情况下，应取较大的进给量，以降低加工成本，提高生产率。

普通麻花钻钻削进给量可按以下经验公式估算选取

$$f=(0.01\sim0.02)d_0$$

式中，d_0 为孔的直径。

加工条件不同时，其进给量可查阅相关钻削用量手册。

（3）钻削速度　钻削的背吃刀量（即钻头半径）、进给量及钻削速度都对钻头寿命产生影响，但背吃刀量对钻头寿命的影响与车削不同。当钻头直径增大时，尽管增大了钻削力，但钻头体积也显著增加，因而散热条件明显改善。实践证明，钻头直径增大时，钻削温度有所下降。因此，钻头直径较大时，可选取较高的钻削速度。

一般情况下，钻削速度可参考表 4-3 选取。

表 4-3　普通高速钢钻头钻削速度参考值　　（单位：m/min）

工件材料	低碳钢	中、高碳钢	合金钢	铸铁	铝合金	铜合金
钻削速度	25～30	20～25	15～20	20～25	40～70	20～40

目前有不少高性能材料制作的钻头，其钻削速度宜取更高值，可由相关资料查取。

4.3　数控铣床（加工中心）的编程要点

4.3.1　数控铣床（加工中心）的编程特点及坐标系

1. 数控铣床（加工中心）的编程特点

（1）镜像加工功能　镜像加工也称为轴对称加工。对于一个轴对称形状的工件来说，利用这一功能，只要编出一半形状的加工程序就可完成全部加工。数控铣床一般还有缩放功能，对于完全相似的轮廓也可以通过调用子程序的方法完成加工。

（2）刀具长度补偿功能　利用该功能可以自动改变切削平面高度，同时可以降低在制造与返修时对刀具长度尺寸的精度要求，还可以弥补轴向对刀误差。

（3）加工坐标系　铣削加工一般应具有三坐标以上的联动功能，能够进行直线插补和圆弧插补，自动控制旋转的铣刀相对于工件运动进行铣削加工。坐标联动轴数越多，对工

件的装夹要求就越低，定位和安装次数就越少，所以加工工艺范围就越大。

（4）编程原点选择　编程原点选择在便于测量或对刀的基准位置，一般设置在工件的上表面中心或上表面某一角落上。

2. 数控铣床（加工中心）的坐标系

（1）机床坐标系　数控铣床的机床原点位置各生产厂家不一致，有的设在机床工作台中心，有的设在进给行程范围的终点（图 4-18）。在数控铣床上，机床原点和机床参考点通常是重合的。

（2）工件坐标系　工件坐标系是编程时用来定义工件形状和刀具相对工件运动的坐标系。为保证编程与机床加工的一致性，工件坐标系也应是右手笛卡儿坐标系。工件装夹到机床上时，应使工件坐标系与机床坐标系的坐标轴方向保持一致。

工件坐标系的原点也称编程原点或工件原点，其位置由编程者确定，如图 4-19 所示的 O_2 点。

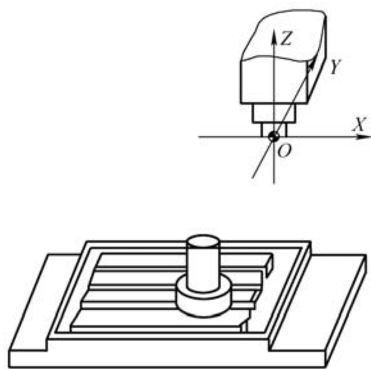


图 4-18　立式数控铣床的机床原点

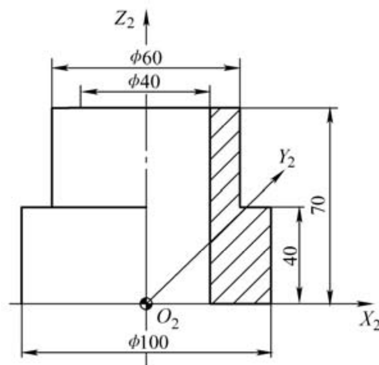


图 4-19　数控铣床的工件原点

4.3.2　对刀及设置工件原点的方法

下面以 FANUC 0i 系统的数控铣床为例，说明对刀及设置工件原点的方法。

1. 设置工件原点方法

（1）用 G92 法设定工件坐标系　G92 指令是规定工件坐标系原点的指令。通过该指令可设定起刀点，即程序开始运动的起点，从而建立工件坐标系。但该指令只是设定坐标系，机床（刀具或工作台）并未产生运动，即 *X*、*Y*、*Z* 轴均不运动，但机床显示器上的坐标值发生变化，该坐标系在机床重开机时消失。

用 G92 设定工件坐标系，使刀具上的点（例如刀尖）位于指定的坐标位置。如果在刀具长度偏置期间用 G92 设定坐标系，则 G92 用无偏置的坐标值设定坐标系。刀具半径补偿被 G92 临时删除。

如图 4-20 所示，用“G92 X260. Y230. Z0.;”设置工件坐标系，刀尖所在点为程序起点。

（2）使用 CRT/MDI 面板输入　使用 CRT/MDI 面板最多可以设置 1～6 个工件坐标系 G54～G59。加工中可以选择 6 个中的一个，也可以选择多个，本方式在一个程序中可以设置多个坐标系。在电源接通并返回参考点之后，建立工件坐标系 1～6。当电源接通时，自动选择 G54 坐标系。

例如一个程序中设置多个坐标系，如图 4-21 所示。

G90 G54 G00 X0. Y0.;（设置第 1 个坐标系在 O_1 点）

⋮

G90 G55 G00 X0. Y0.;（设置第 2 个坐标系在 O_2 点）

⋮

G90 G56 G00 X0. Y0.;（设置第 3 个坐标系在 O_3 点）

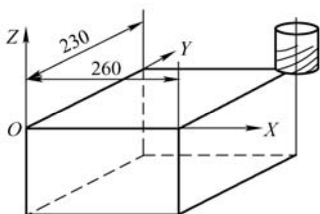


图 4-20　G92 工件坐标系设定

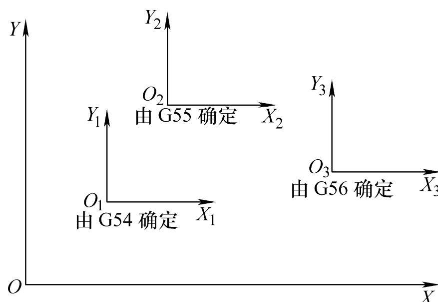


图 4-21　多个坐标系设定

（3）G54～G59 的设定方法　通过 G54～G59 可设置工件原点在机床坐标系中的位置（工件原点以机床原点为基准的偏移量）。工件装夹到机床上后，通过对刀求出偏移量，并经操作面板输入到规定的数据区，程序可以通过选择相应的功能 G54～G59 激活此值。

G54～G59 的数值设定，是将对刀时得到的工件坐标系原点在机床坐标系中的绝对值，存储到数控系统的指定位置的一种操作。其操作按以下方法进行：

1）按键 MENU/OFFSET 进入参数设定页面。

2）用 PAGE[↑]或[↓]键在 N01～N03 坐标系页面和 N04～N06 坐标系页面（图 4-22）之间切换。

3）用 CURSOR[↑]或[↓]选择坐标系。

4）按数字键输入地址字（X/Y/Z）和数值到输入区域。

5）按 INPUT 键，把输入区域中间的内容输入到所指定的位置。

工件坐标系设定　　　　O0010　N00000

(G54)

番号		数据	番号		数据
00	X	0.000	02	X	0.000
(EXT)	Y	0.000	(G55)	Y	0.000
	Z	0.000		Z	0.000
01	X	0.000	03	X	0.000
(G54)	Y	0.000	(G56)	Y	0.000
	Z	0.000		Z	0.000

ADRS　　　　S　　OT

14:40:21　　　　JOG

[　补正　] [MACRO] [　　　] [　坐标系　] [　　　]

图 4-22　坐标系设定页面

2. **对刀方法**

（1）基本对刀方法　对刀前首先要确定好工件的工艺基准（即工件坐标系的原点），然后使用寻边仪或刀具确定工件的 X 和 Y 坐标位置，最后使用刀具确定 Z 坐标的位置，如图 4-23 所示。

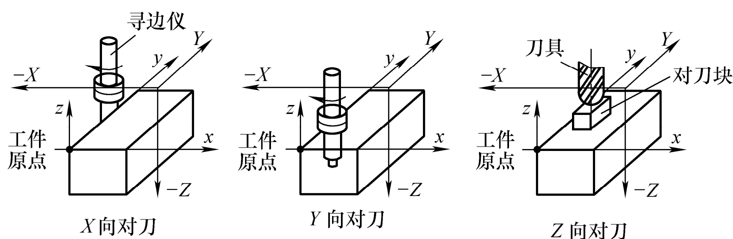


图 4-23　对刀方法

X 向对刀方法：①将寻边仪装在主轴上；②主轴转速为 500～700r/min；③手摇移动工作台使寻边仪靠近工件，直到寻边仪上下两部分重合；④手摇提起寻边仪脱离工件；⑤手摇使 X 轴向工件内移动一个寻边仪半径距离；⑥X 轴相对坐标清零或将机床坐标值输入到 G54 存储器里。

Y 向对刀方法：与 X 向对刀方法相同。

Z 向对刀方法：①将刀具装在主轴上；②在工件上放一对刀块；③手摇移动使刀具靠近对刀块，边移动刀具边拿对刀块试塞，直到松紧适度为止；④手摇使刀具移至工件外，脱离工件；⑤手摇使 Z 轴向下移动一个对刀块高度；⑥Z 轴相对坐标清零或将 Z 轴机床坐标值输入到 G54 存储器里。

使用 G92 确定工件坐标系时，工件坐标系中的 P_点即为“G92 P_；”所在点；使用 G54 确定工件坐标系时，执行“G90 G00 G54 P_；”指令后，刀尖点将到达工件坐标系中的 P_点。

（2）加工中心的对刀方法　由于加工中心具有多把刀具，并能实现自动换刀，因此需要测量所用各把刀具的基本尺寸，并存入数控系统，以便加工中心调用，即进行加工中心的对刀。加工中心通常采用机外对刀仪实现对刀。

对刀仪的基本结构如图 4-24 所示。对刀仪平台 7 上装有刀柄夹持轴 2，用于安装被测刀具（如图 4-25 所示的钻削刀具）。通过快速移动单键按钮 4 和微调旋钮 5 或 6，可调整刀柄夹持轴 2 在对刀仪平台 7 上的位置。当光源发射器 8 发光，将刀具切削刃放大投影到显示屏幕 1 上时，即可测得刀具在 X（径向尺寸）、Z（刀柄基准面到刀尖的长度尺寸）方向的尺寸。

钻削刀具的对刀操作过程如下：

1）将被测刀具与刀柄连接安装为一体。

2）将刀柄插入对刀仪上的刀柄夹持轴 2，并紧固。

3）打开光源发射器 8，观察切削刃在显示屏幕 1 上的投影。

4）通过快速移动单键按钮 4 和微调旋钮 5 或 6，可调整切削刃在显示屏幕 1 上的投影位置，使刀具的刀尖对准显示屏幕 1 上的十字线中心，如图 4-26 所示。

5）测得 X 为 20，即刀具直径为 ϕ20mm，该尺寸可用做刀具半径补偿。

6）测得 Z 为 180.002，即刀具长度尺寸为 180.002mm，该尺寸可用做刀具长度补偿。

7）将测得尺寸输入加工中心的刀具补偿页面。

8）将被测刀具从对刀仪上取下后，即可装到加工中心上使用。

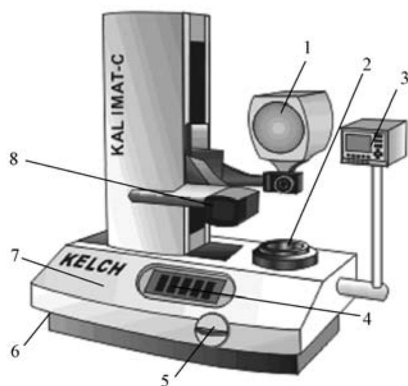


图 4-24 对刀仪的基本结构

1—显示屏幕 2—夹持轴 3—控制面板 4—单键按钮

5、6—微调旋钮 7—平台 8—光源发射器

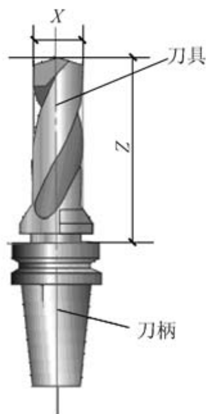


图 4-25 钻削刀具对刀

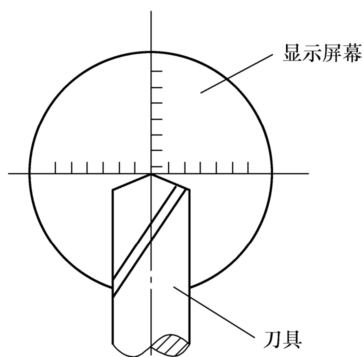


图 4-26 对刀

4.3.3 刀具补偿及参数的设定

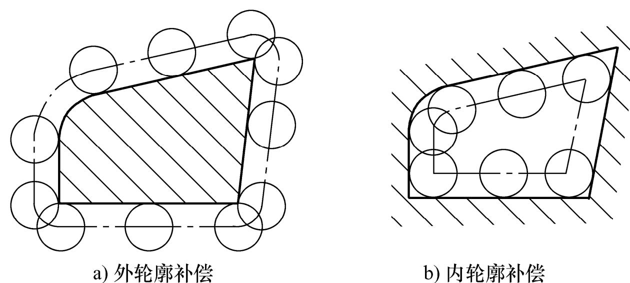
1. 刀具半径补偿

在数控铣床及加工中心上进行轮廓加工时，因为铣刀具有一定的半径，所以刀具中心（刀心）轨迹和工件轮廓不重合。数控装置大都具有刀具半径补偿功能，为程序编制提供了方便。当编制零件加工程序时，只需按零件轮廓编程，使用刀具半径补偿指令，并在控制面板上用键盘（CRT/MDI）方式人工输入刀具半径值，数控系统便能自动计算出刀具中心的偏移量，进而得到偏移后的中心轨迹，并使系统按刀具中心轨迹运动。如图 4-27 所示，使用了刀具半径补偿指令后，数控系统会控制刀具中心自动按图中的点画线进行加工进给。

G41 是刀具半径左补偿指令（左刀补），即顺着刀具前进方向看（假定工件不动），刀具位于工件轮廓的左边，称左刀补，如图 4-28a 所示。

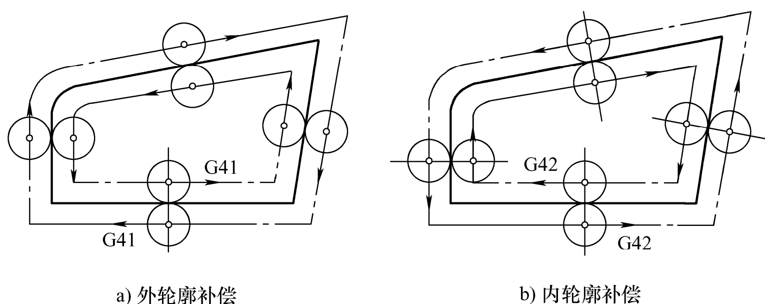
G42 是刀具半径右补偿指令（右刀补），即顺着刀具前进方向看（假定工件不动），刀具位于工件轮廓的右边，称右刀补，如图 4-28b 所示。

G40 是取消刀具半径补偿指令。使用该指令后，G41、G42 指令无效。



a) 外轮廓补偿　　　b) 内轮廓补偿

图 4-27　刀具半径补偿



a) 外轮廓补偿　　　b) 内轮廓补偿

图 4-28　刀具半径的左右补偿

2. 刀具长度补偿

刀具长度补偿功能用于 *Z* 轴方向的刀具补偿，它可以使刀具在 *Z* 轴方向的实际位移量大于或小于程序给定值。

有了刀具长度补偿功能，编程者可在不知道刀具长度的情况下，按假定的标准刀具长度编程，即编程不必考虑刀具的长度，实际用刀长度与标准刀长不同时，可用长度补偿功能进行补偿。

同样，当加工中刀具因磨损、重磨、换新刀而长度发生变化时，也不必修改程序中的坐标值，只要修改刀具参数库中的长度补偿值即可。

其次，若加工一个零件需用几把刀，而各刀的长短不一，编程时也不必考虑刀具长短对坐标值的影响，只要把其中一把刀设为标准刀，其余各刀相对标准刀设置长度补偿值即可。

3. 刀具补偿参数的设定

数控铣床（加工中心）刀具补偿参数的设定包括刀具半径补偿参数的设定与刀具长度补偿参数的设定。下面以 FANUC 0i 系统的数控铣床为例，说明刀具补偿参数的设定方法。

（1）刀具半径补偿参数的设定

1）按 MENU/OFFSET 键进入参数设定页面。

2）用 PAGE[↑]或[↓]键选择半径补偿参数页面，如图 4-29 所示。

3）用 CURSOR[↑]或[↓]键选择补偿参数编号。

4）输入补偿值到输入域。

5）按 INPUT 键，把输入域中间的补偿值输入到所指定的位置。

（2）刀具长度补偿参数的设定

1）将 MODE 旋钮设在 EDIT。

2）按 MENU/OFFSET 键进入参数设定页面。

3）用 PAGE[↑]或[↓]键选择长度补偿参数页面。

4）用 CURSOR[↑]或[↓]键选择补偿参数编号。

5）输入补偿值到输入域。

6）按 INPUT 键，把输入域中的补偿值存储到单元里。

使用时，为了便于管理，常常在 001～020 存储单元上存储半径补偿值，在 021～032 存储单元上存储刀具长度补偿值。

工具补正　　O0040　N00040

番号	数据	番号	数据
001	0.000	009	0.000
002	0.000	010	0.000
003	0.000	011	20.000
004	0.000	012	0.000
005	0.000	013	0.000
006	0.000	014	0.000
007	0.000	015	0.000
008	0.000	016	0.000

现在位置　（相对坐标）

X　0.000　　Y　0.000

Z　0.000

番号 020　=　　S　OT

14:40:21　　EDIT

[　补正　][MACRO][　　][　坐标系　][　　]

图 4-29　刀补页面

第 5 章

FANUC 数控铣床（加工中心）编程实例

5.1 平面图形类零件编程加工（1 例）

实例 45——平面图形类零件编程加工

1. 零件工艺分析

图 5-1 所示平面图形加工相对简单，不考虑刀具半径补偿，不用换刀，宜采用一次装夹连续铣削完成。工件装夹在机用虎钳中，用百分表校正。根据工件坐标系建立原则，工件坐标系原点设置在工件上表面左上角。

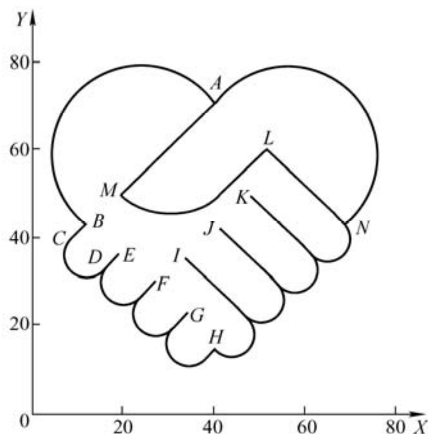


图 5-1　实例 45 零件图

根据图样要求，为了便于加工，确定加工路线按照 *ABCDEFGHIJKLMN* 的顺序进行。各基点坐标值见表 5-1。

表 5-1　基点的坐标值　（单位：mm）

基　　点	坐标（*X*，*Y*）	基　　点	坐标（*X*，*Y*）
A	（40，71）	*C*	（9，40）
B	（12，43）	*D*	（16，33）

（续）

基　　点	坐标（X，Y）	基　　点	坐标（X，Y）
E	（19，36）	*J*	（40，42.5）
F	（26，29）	*K*	（47，49）
G	（33，22）	*L*	（51，60）
H	（40，15）	*M*	（19，50）
I	（33，36）	*N*	（68，43）

2. 刀具与切削用量选择

该零件只需要加工平面图形，采用小直径的ϕ4mm 平底立铣刀。

零件加工材料为硬铝，由于刀具直径较小，而被加工材料硬度较低，加工时使用较高的转速，可以较快完成加工。根据加工要求，切削用量的选择见表 5-2。

表 5-2　刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/min）
1	铣平面图形	T01	ϕ4mm 立铣刀	2000	150

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控铣床上加工，编制的数控加工参考程序见表 5-3。

表 5-3　数控加工参考程序

程　　序	说　　明
O4501；	主程序名
N010 G54 G90 G94；	设置初始状态
N015 M03 S2000；	设置加工参数
N020 G00 X0.0 Y0.0；	
N030 Z50.0；	
N040 G00 X40.0 Y71.0；	快速移到 *A* 点上方
N050 Z5.0；	
N060 G01 Z-3.0 F150；	
N070 G03 X12.0 Y43.0 R-20.0；	铣 *AB* 段圆弧
N080 G01 X9.0 Y40.0；	
N090 G03 X16.0 Y33.0 R5.0；	铣 *CD* 段圆弧
N100 G01 X19.0 Y36.0；	
N110 G01 X16.0 Y33.0；	
N120 G03 X23.0 Y26.0 R5.0；	
N130 G01 X26.0 Y29.0；	
N140 G01 X23.0 Y26.0；	
N150 G03 X30.0 Y19.0 R5.0；	
N160 G01 X33.0 Y22.0；	
N170 G01 X30.0 Y19.0；	
N180 G03 X37.0 Y12.0 R5.0；	

（续）

程　　序	说　　明
N190 G01 X40.0 Y15.0；	
N200 G03 X47.0 Y22.0 R5.0；	
N210 G01 X33.0 Y36.0；	
N220 G01 X47.0 Y22.0；	
N230 G03 X54.0 Y29.0 R5.0；	
N240 G01 X40.0 Y42.5；	
N250 G01 X54.0 Y29.0；	
N260 G03 X61.0 Y36.0 R5.0；	
N270 G01 X47.0 Y49.0；	
N280 X61.0 Y36.0；	
N290 G03 X68.0 Y43.0 R5.0；	
N300 G01 X51.0 Y60.0；	
N310 X41.0 Y50.0；	
N320 G02 X19.0 Y50.0 R15.5；	
N330 G01 X40.0 Y71.0；	
N340 G02 X68.0 Y43.0 R-20.0；	铣 *AN* 段圆弧
N350 G90 G00 Z200.0；	刀具返回到安全高度
N360 M05；	
N370 M30；	程序结束

5.2　轮廓类零件编程加工（3 例）

5.2.1　实例 46——轮廓类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 5-2 所示手柄支撑板的内孔及两端面已加工，其平面外形轮廓主要由直线和圆弧组成，形状比较简单，总体尺寸较小，尺寸精度和表面粗糙度要求一般，无几何公差要求。依据零件结构形状及加工要求，工件以一面两孔定位，采用螺旋夹紧。根据工件坐标系建立原则，工件坐标系原点设置在工件上表面几何中心，采用刀具半径左补偿编程。

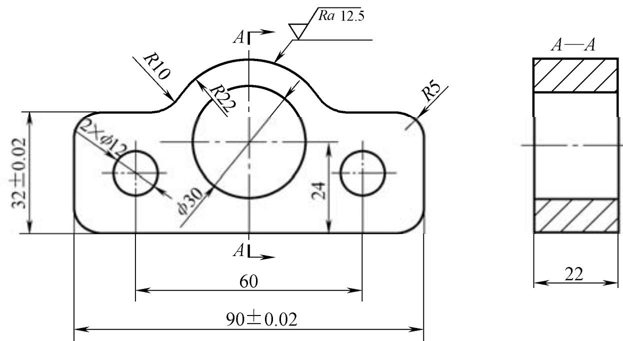


图 5-2　实例 46 零件图

2. 刀具与切削用量选择

依据零件上最小凹圆弧半径为 R10 mm，选用ϕ16 mm 的平底立铣刀即可。

零件毛坯为铸件，材料为 HT200，根据加工要求，切削用量的选择见表 5-4。

表 5-4 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/min）
1	粗加工外轮廓面	T01	ϕ16mm 立铣刀	600	80
2	精加工外轮廓面	T01	ϕ16mm 立铣刀	1000	60

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控铣床上加工，编制的数控加工参考程序见表 5-5。

表 5-5 数控加工参考程序

程序	说明
O4601；	主程序名
N010 M03 S600；	
N020 G54 G00 X-50.0 Y-40.0 Z10.0；	
N030 G01 Z0 F80；	
N040 M98 P40002；	
N050 G01 Z10.0；	
N060 Z50.0；	
N070 M30；	程序结束
O0002；	子程序名（铣外形）
N010 G91 G01 Z-6.0；	
N020 G90 G00 X-50.0 Y-40.0；	
N030 G41 G01 X-45.0 Y-30.0 D01；	D01 粗加工设为 8.2mm，精加工设为 8mm
N040 G01 Y-24.0；	
N050 Y3.0；	
N060 G02 X-40.0 Y8.0 R5.0；	
N070 G01 X-26.46；	
N080 G03 X-18.19 Y12.38 R10.0；	
N090 G02 X18.19 Y12.38 R22.0；	
N100 G03 X26.46 Y8.0 R10.0；	
N110 G01 X40.0；	
N120 G02 X45.0 Y3.0 R5.0；	
N130 G01 Y-19.0；	
N140 G02 X40.0 Y-24.0 R5.0；	
N150 G01 X-40.0；	
N160 G02 X-45.0 Y-19.0 R5.0；	
N170 G40 G01 X-50.0；	
N180 G01 Y-40.0；	
N190 M99；	子程序结束

5.2.2 实例 47—— 轮廓类零件编程加工（二）

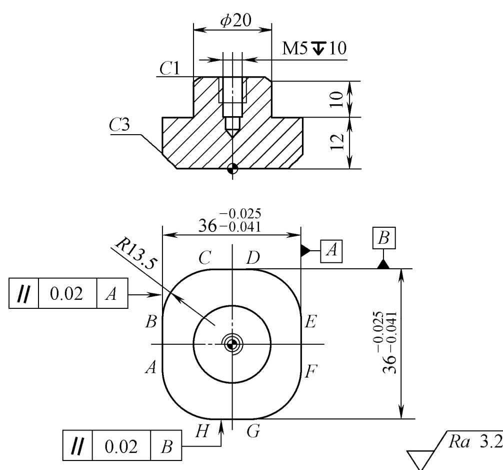


图 5-3　实例 47 零件图

1. 零件工艺分析

图 5-3 所示零件铣削之前，已进行车削加工和钻孔攻螺纹，该零件加工需要考虑刀具半径补偿，宜采用一次装夹连续铣削完成。工件装夹以ϕ20mm 的外圆为定位基准，采用自定心三爪卡盘夹紧，固定于铣床工作台上，用百分表校正工件中心。根据工件坐标系建立原则，工件坐标系原点设置在工件上表面的对称中心点上。

根据图样要求，为了便于加工，确定加工路线按照 *ABCDEFGH* 的顺序进行，各基点坐标值见表 5-6。

表 5-6　基点坐标值　（单位：mm）

基　　点	坐标（*X*，*Y*）	基　　点	坐标（*X*，*Y*）
A	（−17.984，−4.484）	*E*	（17.984，4.484）
B	（−17.984，4.484）	*F*	（17.984，−4.484）
C	（−4.484，17.984）	*G*	（4.484，−17.984）
D	（4.484，17.984）	*H*	（−4.484，−17.984）

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，铣外轮廓采用ϕ16mm 平底立铣刀，铣 *C*3mm 倒角采用ϕ10mm 倒角刀。

零件加工材料为硬铝，硬度较低，切削力较小，切削用量可以选择大些。根据加工要求切削用量的选择见表 5-7。

表 5-7　刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	粗铣外轮廓，留 0.4mm 精铣余量	T01	ϕ16mm 立铣刀	500	150
2	精铣外轮廓	T01	ϕ16mm 立铣刀	800	50
3	铣 *C*3mm 倒角	T02	ϕ10mm 倒角刀	600	150

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的加工中心上加工，编制的数控加工参考程序见表 5-8。

表 5-8 数控加工参考程序

程 序	说 明
O4701；	主程序名
N010 G54 G90 G94；	设置初始状态
N015 M03 S500 T01 M06；	设置加工参数，调用 1 号立铣刀
N020 G00 X0.0 Y0.0；	
N030 Z50.0；	
N040 G41 G00 X-18.4 Y-50.0 D01；	定位到切削点上方，建立刀具半径左补偿
N050 G00 Z-12.0；	下刀至背吃刀量
N060 G01 Y-40.0 F150；	
N070 G01 Y4.5；	粗加工 *AB* 段直线
N080 G02 X-4.5 Y18.4 R13.9；	粗加工 *BC* 段圆弧
N090 G01 X4.5；	
N100 G02 X18.4 Y4.5 R13.9；	粗加工 *DE* 段圆弧
N110 G01 Y-4.5；	
N120 G02 X4.5 Y-18.4 R13.9；	粗加工 *FG* 段圆弧
N130 G01 X-4.5；	
N140 G02 X-18.4 Y-4.5 R13.9；	粗加工 *HA* 段圆弧
N150 G03 X-26.4 Y3.5 R8；	
N160 G90 G00 Z50.0；	返回到安全高度
N170 M05；	
N175 G40 X0.0 Y0.0；	返回到刀具起始点，取消刀具半径补偿
N180 M03 S800；	
N190 G41 G00 X-17.984 Y-50.0 D01；	定位到切削点上方，建立刀具半径左补偿
N200 G00 Z-12.0；	下刀至背吃刀量
N210 G01 Y-40.0 F50；	
N220 G01 Y4.484；	加工 *AB* 段直线
N230 G02 X-4.484 Y17.984 R13.5；	加工 *BC* 段圆弧
N240 G01 X4.484；	
N250 G02 X17.984 Y4.484 R13.5；	加工 *DE* 段圆弧
N260 G01 Y-4.484；	
N270 G02 X4.484 Y-17.984 R13.5；	加工 *FG* 段圆弧
N280 G01 X-4.484；	
N290 G02 X-17.984 Y-4.484 R13.5；	加工 *HA* 段圆弧
N300 G03 X-26 Y3.5 R8；	
N310 G90 G00 Z300.0；	返回到安全高度
N320 M05；	
N330 G40 X0.0 Y0.0；	返回到刀具起始点，取消刀具半径补偿
N340 M03 S600 T02 M06；	设置加工参数，调用 2 号倒角刀
N350 G00 X0.0 Y0.0；	
N360 Z50.0；	
N370 G41 G00 X-13.0 Y-50.0 D02；	定位到切削点上方，建立刀具半径左补偿
N380 G00 Z-4.0；	下刀至背吃刀量
N390 G01 Y-40.0 F150；	

（续）

程　　序	说　　明
N400 G01 Y4.5;	加工 *AB* 段倒角
N410 G02 X-4.5 Y13.0 R8.5;	加工 *BC* 段倒角
N420 G01 X4.5;	
N430 G02 X13.0 Y4.5 R8.5;	加工 *DE* 段倒角
N440 G01 Y-4.5;	
N450 G02 X4.5 Y-13.0 R8.5;	加工 *FG* 段倒角
N460 G01 X-4.5;	
N470 G02 X-13.0 Y-4.5 R8.5;	加工 *HA* 段倒角
N480 G03 X-17.5 Y0.0 R4.5;	
N490 G90 G00 Z200.0;	返回到安全高度
N500 M05;	
N510 G40 X0.0 Y0.0;	返回到刀具起始点，取消刀具半径补偿
N520 M30;	程序结束

5.2.3　实例 48——轮廓类零件编程加工（三）

1．零件工艺分析

图 5-4 所示零件为对称件，可以采用镜像指令编程。零件的外轮廓为方形，粗加工四个凸台，切入和切出安排在型腔中部；精加工四个凸台，采用改变刀具半径补偿值的方法加工。

采用机用虎钳装夹工件，用百分表找正，工件坐标系原点设置在正方形工件中心上表面处。

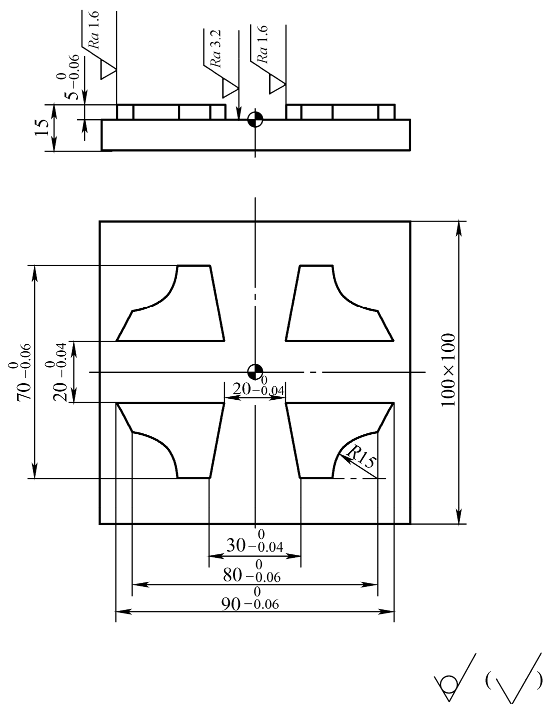


图 5-4　实例 48 零件图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，粗、精加工四个凸台选用ϕ12mm 三刃立铣刀。

零件加工材料为 45 钢，硬度较大，切削速度不可太快，切削用量的选择见表 5-9。

表 5-9 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/min）
1	粗加工四个凸台	T01	ϕ12mm 立铣刀	550	120
2	精加工四个凸台	T01	ϕ12mm 立铣刀	800	100

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控铣床上加工，编制的数控加工参考程序见表 5-10。

表 5-10 数控加工参考程序

程序	说明
O4801；	主程序名
N010 M03 S550；	（粗加工主轴转速 550r/min，精加工主轴转速 800 r/min）
N020 G90 G00 Z20.0；	
N030 M98 P1101；	调用子程序，加工凸台
N040 G51.1 X0；	
N050 M98 P1101；	调用子程序，加工凸台
N060 G50.1；	
N070 G51.1 Y0；	
N080 M98 P1101；	调用子程序，加工凸台
N090 G50.1；	
N100 G51.1 X0 Y0；	
N110 M98 P1101；	调用子程序，加工凸台
N120 G50.1；	
N130 M05；	
N140 M30；	程序结束
O1101	子程序名（铣凸台）
N010 G90 G00 X70.0 Y0.0	
N020 Z-3.0	
N030 G41 G01 X40.0 Y10.0 D01 F120	（粗加工进给速度 120mm/min，精加工进给速度 100mm/min）
N040 G01 X10.0 Y10.0	
N050 X15.0 Y35.0	
N060 X25.0 Y35.0	
N070 G03 X40.0 Y20.0 R15.0	
N080 G01 X45.0 Y10.0	
N090 X50.0 Y5.0	
N100 G40 X70.0 Y0.0	
N110 G00 Z20.0	
N120 M99	子程序结束

5.3 槽类零件编程加工（4 例）

5.3.1 实例 49——槽类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 5-5 所示零件形状简单，加工要素清晰，即单纯加工一沟槽，表面粗糙度要求最高为 *Ra*12.5μm，尺寸精度要求较低，槽宽 8mm，深 4mm，无明确公差要求。由于毛坯为规则块料，容易装夹，故采用机用虎钳装夹工件，工件夹持量要适当。以上表面中心为工件加工原点，对刀后将其坐标偏移量输入 G54、G55 指令。

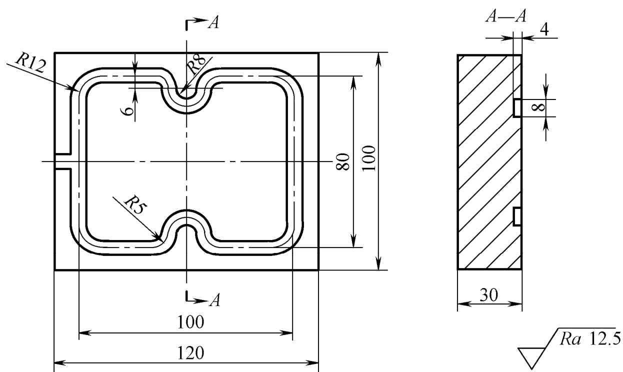


图 5-5　实例 49 零件图

2. 刀具与切削用量选择

依据零件加工内容，选用ϕ6mm、ϕ8mm 的立铣刀，数控刀具选择见表 5-11。

零件加工材料为 45 钢，硬度较高，切削力较大，进给速度可以选择小些，切削用量的选择见表 5-11。

表 5-11　数控刀具和切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/min）
1	粗加工沟槽	T01	ϕ6mm 立铣刀	600	60
2	精加工沟槽	T02	ϕ8mm 立铣刀	600	40

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控铣床上加工，粗加工沟槽数控加工参考程序见表 5-12。粗加工程序运行后换刀，并将程序中的 F60 换为 F40，G54 改为 G55 后，再运行此程序进行精加工。

表 5-12 数控加工参考程序（粗加工）

程　　序	说　　明
O4901；	主程序名（粗加工）
N010 M03 S600；	
N020 G54 G00 X-100.0 Y0.0；	
N030 Z-4.0；	
N040 G01 X-50.0 F60；	
N050 Y28.0；	
N060 G02 X-38.0 Y40.0 R12.0；	
N070 G01 X-12.96；	
N080 G02 X-7.98 Y34.62 R5.0；	
N090 G03 X7.98 Y34.62 R8.0；	
N100 G02 X12.96 Y40.0 R5.0；	
N110 G01 X38.0；	
N120 G02 X50.0 Y28.0 R12.0；	
N130 G01 X50.0 Y-28.0；	
N140 G02 X40.0 Y-28.0 R12.0；	
N150 G01 X12.96；	
N160 G02 X7.98 Y-34.62 R5.0；	
N170 G03 X-7.98 Y-34.62 R8.0；	
N180 G002 X-12.96 Y-40 R5.0；	
N190 G01 X-38.0；	
N200 G02 X-50.0 Y-28.0 R12.0；	
N210 G01 Y0.0；	
N220 G00 Z100.0；	
N230 M30；	程序结束

5.3.2　实例 50—— 槽类零件编程加工（二）

1. **零件工艺分析**

图 5-6 所示零件加工沟槽之前，已进行外形的加工，不考虑刀具半径补偿，不用换刀，宜采用一次装夹完成沟槽加工。工件装夹以工件的底面和侧面为定位面，用螺钉、压板将工件夹紧在直角拐铁上，用百分表找正工件大侧面与机床坐标系 *X* 轴平行，将直角拐铁在机床工作台上定位并固定。根据工件坐标系建立原则，工件坐标系原点设置在工件 *R*20mm 弧顶点上，如图 5-6 所示。

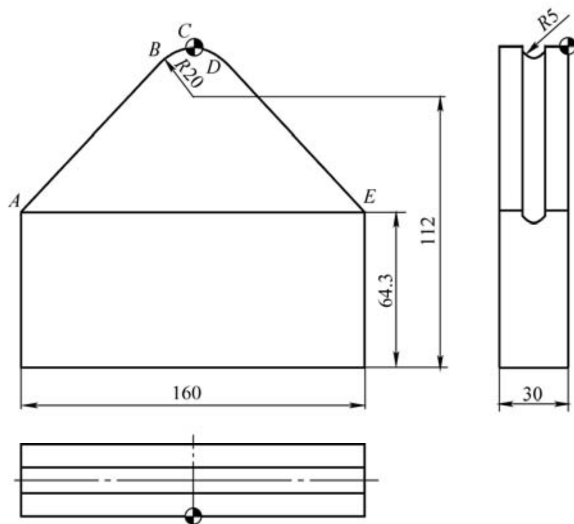


图 5-6　实例 50 零件图

根据图样要求，采用上山式铣削，确定加工路线按照 *ABC*、*EDC* 的顺序进行。各基点坐标值见表 5-13。

表 5-13　基点的坐标值　　（单位：mm）

基　　点	坐标（X，Y，Z）	基　　点	坐标（X，Y，Z）
A	（-80，14.642，-72.874）	*D*	（14.265，14.642，-5.982）
B	（-14.265，14.642，-5.982）	*E*	（80，14.642，-72.874）
C	（0，14.642，0）	—	—

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选用ϕ10mm 硬质合金球头立铣刀。

零件加工材料为 W18Cr4V 钢，硬度较高，切削力较大，进给速度可以选择小些，切削用量的选择见表 5-14。

表 5-14　刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	铣沟槽	T01	ϕ10 mm 立铣刀	700	30

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控铣床上加工，编制的数控加工参考程序见表 5-15。

表 5-15　数控加工参考程序

程　　序	说　　明
O5001；	主程序名
N010 G54 G90 G94；	设置初始状态
N015 M03 S700 ；	设置粗铣加工参数

（续）

程　　序	说　　明
N020 G00 X0.0 Y0.0；	
N030 Z50.0；	快速到初始平面
N040 G00 X-80.0 Y14.642；	快速移到 *A* 点上方
N050 Z-59.0；	
N060 G01 Z-71.874 F30；	*Z* 轴方向留 1mm 加工余量
N070 G01 X-14.265 Z-4.982；	粗铣切削 *AB* 直线
N080 G18 G03 X0.0 Z1.0 R20.0；	选择 *ZX* 面，粗铣切削 *BC* 圆弧
N090 G00 Z50.0；	
N100 G00 X80.0 Y14.642；	
N110 G00 Z-60.0；	
N120 G01 Z-71.874 F30；	
N130 G01 X14.265 Z-4.982；	
N140 G18 G02 X0.0 Z1.0 R20.0；	
N150 G00 Z50.0；	
N170 M05；	
N180 M03 S1000；	设置精铣加工参数
N190 G00 X0.0 Y0.0；	
N200 Z50.0；	
N210 G00 X-80.0 Y14.462；	快速移到 *A* 点上方
N220 Z-60.0；	
N230 G01 Z-72.874 F30；	
N240 G01 X-14.265 Z-5.982；	精铣切削 *AB* 直线
N250 G18 G03 X0.0 Z0.0 R20.0；	选择 *ZX* 面，精铣切削 *BC* 圆弧
N260 G00 Z50.0；	
N270 G00 X80.0 Y14.642；	
N280 G00 Z-60.0；	
N290 G01 Z-72.874 F30；	
N300 G01 X14.265 Z-5.982；	
N310 G18 G02 X0.0 Z0.0 R20.0；	
N320 G00 Z50.0；	
N330 G90 G00 Z200.0；	返回到安全高度
N340 M05；	
N350 X0.0 Y0.0；	返回到刀具起始点
N360 M30；	程序结束

5.3.3 实例 51——槽类零件编程加工（三）

1. 零件工艺分析

如图 5-7 所示，加工 80mm×80mm 外形及ϕ40mm 圆槽。采用机用虎钳装夹工件，以工件上表面的中心点作为工件坐标系原点。用寻边仪找正其中心点，以工件上表面进行对刀。根据图样分析，零件加工精度较高，分粗、精两次加工。

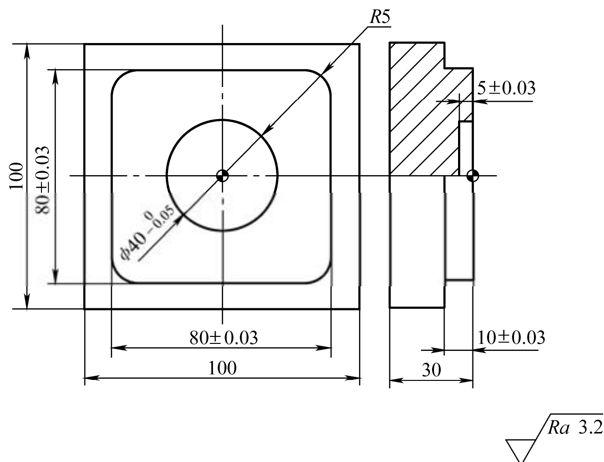


图 5-7　实例 51 零件图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，粗、精加工选用φ20mm 高速钢键槽铣刀。

加工材料为硬铝，硬度较低，切削力较小，切削速度可较高，但垂直下刀进给量应小，切削用量的选择参见表 5-16。

表 5-16　刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	粗铣外形	T01	φ20 mm 键槽铣刀	1000	300
2	精铣外形	T01	φ20 mm 键槽铣刀	1000	300
3	粗铣φ40mm 槽	T01	φ20 mm 键槽铣刀	1000	300
4	精铣φ40mm 槽	T01	φ20 mm 键槽铣刀	1000	300

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控铣床上加工，编制的数控加工参考程序见表 5-17。

表 5-17　数控加工参考程序

程　序	说　明
O5101；	主程序名
N010 G54 G90 G94 G21；	
N020 G17 G40 G49 G80；	
N030 G00 X−65.0 Y35.0 S1000 M03；	主轴正转，转速为 1000r/min
N040 Z50.0；	
N050 Z5.0；	
N060 G01 Z−9.8 F100；	
N070 D02 M98 P2；	D02 补偿值 10.2mm
N080 G01 Z−10.0 F100；	
N090 D01 M98 P2；	D01 补偿值 15mm
N100 D02 M98 P2；	
N110 D03 M98 P2；	D03 补偿值 10mm
N120 G00 Z50.0；	
N130 G00 X0.0 Y0.0；	

（续）

程　　序	说　　明
N140 Z5.0；	
N150 G1 Z-4.8 F100；	
N160 D02 M98 P3；	
N170 G01 Z-5.0 F100；	
N180 D03 M98 P3；	
N190 G00 Z50. 0；	
N200 M05；	
N210 G91 G28 Z0.0；	
N220 G28 X0.0 Y0.0；	
N230 M30；	程序结束
O0002；	子程序名（铣外形）
N010 G41 X-60.0 Y15.0 F300；	
N020 G03 X-40.0 Y35.0 R20.0；	
N030 G02 X-35.0 Y40.0 R5.0；	
N040 G01 X35.0；	
N050 G02 X40.0 Y35.0 R5.0；	
N060 G01 Y-35.0；	
N070 G02 X35.0 Y-40.0 R5.0；	
N080 G01 X-35.0；	
N090 G02 X-40.0 Y-35.0 R5.0；	
N100 G01 Y35.0；	
N110 G03 X-60.0 Y55.0 R20.0；	
N120 G01 G40 X-65.0 Y35.0；	
N130 M99；	子程序结束
O0003；	子程序名（铣槽）
N010 G41 X19.988 F300；	
N020 G03 X19.988 I-19.988 J0；	
N030 G40 X0.0；	
N040 M99；	子程序结束

5.3.4 实例 52——槽类零件编程加工（四）

图 5-8　实例 52 零件图

1. 零件工艺分析

图 5-8 所示零件为旋转类件，三段圆弧槽采用子程序和旋转编程指令编程，其起刀点为工件中心位置处，采用螺旋式下刀，其旋转中心为工件坐标系原点。零件的外轮廓为方形，采用机用虎钳装夹工件，以工件上表面的中心点作为工件坐标系原点。用寻边仪找正其中心点，以工件上表面进行对刀。

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，加工三段凹弧槽，选用ϕ12mm 三刃立铣刀，2×ϕ20mm 通孔采用ϕ20mm 麻花钻直接钻削加工。

零件加工材料为 45 钢，硬度较高，切削力较大，进给速度可以选择小些，切削用量的选择参见表 5-18。

表 5-18　刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/min）
1	加工三段凹弧槽	T01	ϕ12 mm 立铣刀	550	80
2	钻削加工 2×ϕ20 mm 通孔	T02	ϕ20 mm 麻花钻	500	100

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控铣床上加工，编制的数控加工参考程序见表 5-19、表 5-20。

表 5-19　数控加工参考程序（圆弧槽）

程　　序	说　　明
O5201；	主程序名（圆弧槽）
N010 M03 S500 G40 G90 G49 G80；	
N020 G00 Z30.0；	
N030 G00 X34.956 Y0.0；	
N040 M98 P1000；	
N050 G68 X0.0 Y0.0 R-120.0；	
N060 G00 X34.956 Y0.0；	
N070 M98 P1000；	
N080 G68 X0.0 Y0.0 R-240.0；	
N090 G00 X34.956 Y0.0；	
N100 M98 P1000；	
N105 G69 X0.0 Y0.0；	
N110 M05；	
N120 M30；	程序结束
O1000；	子程序名（铣圆弧槽）
N010 G01 Z0.5；	
N020 G91 G02 X35.45 Y30.28 Z-0.5 R35.0；	
N030 G03 X-35.45 Y-30.28 Z-1.0 R35.0；	
N040 G02 X35.45 Y30.28 Z-1.5 R35；	
N050 G03 X-35.45 Y-30.28 Z-2.0 R35.0；	
N060 G02 X35.45 Y30.28 Z-2.5 R35.0；	
N070 G03 X-35.45 Y-30.28 Z-3.0 R35.0；	
N080 G02 X35.45 Y30.28 R35.0；	
N090 G01 Z30.0；	
N100 M99；	子程序结束

表 5-20 数控加工参考程序（钻孔）

程　　序	说　　明
O5202；	主程序名（钻孔）
N010 G40 G49 G80 G90 M03 S500；	
N020 G00 Z30.0；	
N030 G00 X35.0 Y35.0；	
N040 G01 Z10.0；	
N050 G81 X35.0 Y35.0 Z-18.0 R10.0 Q3.0 F60；	调用钻孔循环
N060 X-35.0 Y-35.0；	
N070 G80；	
N080 M05；	
N090 M30；	程序结束

5.4 孔系编程加工（4 例）

5.4.1 实例 53——孔系编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 5-9 所示零件的形状规则，可使用机用虎钳装夹，选择上表面中心孔的圆心为工件坐标系原点。零件的工艺路线安排如图 5-10 所示，采用钻阶梯小孔→钻阶梯大孔→精镗中心孔的工序路线加工。

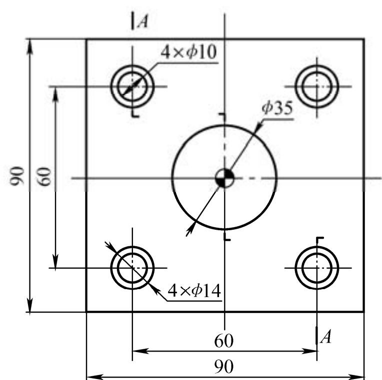


图 5-9 实例 53 零件图

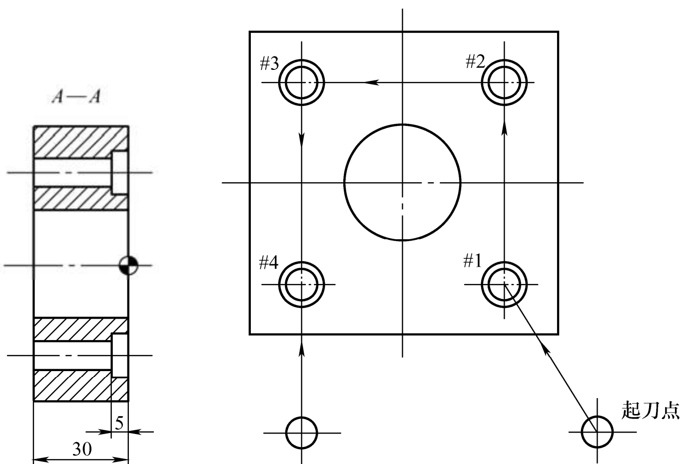


图 5-10 工艺路线图

2. 刀具与切削用量选择

钻阶梯小孔选用ϕ10mm 的高速钢麻花钻，钻阶梯大孔选用ϕ14mm 的高速钢麻花钻，精镗中心孔选用ϕ35mm 的硬质合金精镗刀。

零件材料为 45 钢，硬度较大，切削速度不宜太快，切削用量的选择见表 5-21。

表 5-21　刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	钻阶梯小孔	T01	ϕ10 mm 麻花钻	500	80
2	钻阶梯大孔	T02	ϕ14 mm 麻花钻	300	40
3	精镗中心孔	T03	ϕ35 mm 精镗刀	1000	40

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的加工中心上加工，编制的数控加工参考程序见表 5-22。

表 5-22　数控加工参考程序

程　序	说　明
O5301；	主程序名
N010 G80 G90 G17 G49 G40 T01 M06；	设置初始状态，调用 1 号ϕ10mm 麻花钻
N020 G43 G00 Z200.0 H01；	刀具长度补偿
N030 M03 S500；	
N040 G54 G00 X50.0 Y-100.0；	
N050 G99 G83 X30.0 Y-30.0 Z-32.0 R3.0 Q5.0 F80；	加工ϕ10mm 的#1 孔
N060 Y30.0；	加工ϕ10mm 的#2 孔
N070 X-30.0；	加工ϕ10mm 的#3 孔
N080 G00 X-30.0 Y-100.0；	快速移到工件外面
N090 G98 G83 X-30.0 Y-30.0 Z-32.0 R3.0 Q5.0 F80；	加工ϕ10mm 的#4 孔
N100 G49 G28 Z0.0；	*Z* 轴返回参考点
N110 M05；	
N120 T02 M06；	换 2 号ϕ14mm 麻花钻
N130 G43 G00 Z200.0 H02；	刀具长度补偿
N140 M03 S300；	
N150 G99 G81 X30.0 Y-30.0 Z-5.0 R3.0 F40；	加工ϕ14mm 的#1 孔
N160 Y30.0；	加工ϕ14mm 的#2 孔
N170 X-30.0；	加工ϕ14mm 的#3 孔
N180 G00 X-30.0 Y-100.0；	快速移到工件外面
N190 G98 G81 X-30.0 Y-30.0 Z-5.0 R3.0 F40；	加工ϕ14mm 的#4 孔
N200 G49 G28 Z0.0；	*Z* 轴返回参考点
N210 M05；	
N220 T03　M06；	换 3 号刀ϕ35mm 精镗刀
N230 G43 G00 Z200.0 H03；	刀具长度补偿
N240 M03 S1000；	
N250 G98 G76 X0.0 Y0.0 Z-30.0 R3.0 Q1.0 P1.0 F40；	精镗ϕ35mm 的孔
N260 M05；	
N270 M30；	程序结束

5.4.2 实例54——孔系编程加工（二）

1. 零件工艺分析

图5-11精加工三孔之前，工件已进行半精加工，孔的位置精度已经由上道工序保证，本工序主要保证孔的尺寸精度与表面粗糙度，孔留精铣余量0.3mm，不考虑刀具半径补偿，不用换刀，宜采用一次装夹完成孔加工。

工件装夹时以工件的底面和侧面为定位面，用百分表找正工件长侧面与机床坐标系*X*轴平行，工件下面垫上垫铁，用螺钉、压板将其压紧在机床工作台上。工件坐标系原点选在已粗加工的ϕ50mm通孔的回转中心线与工件上表面交点上。加工路线按照*ABC*的顺序进行。

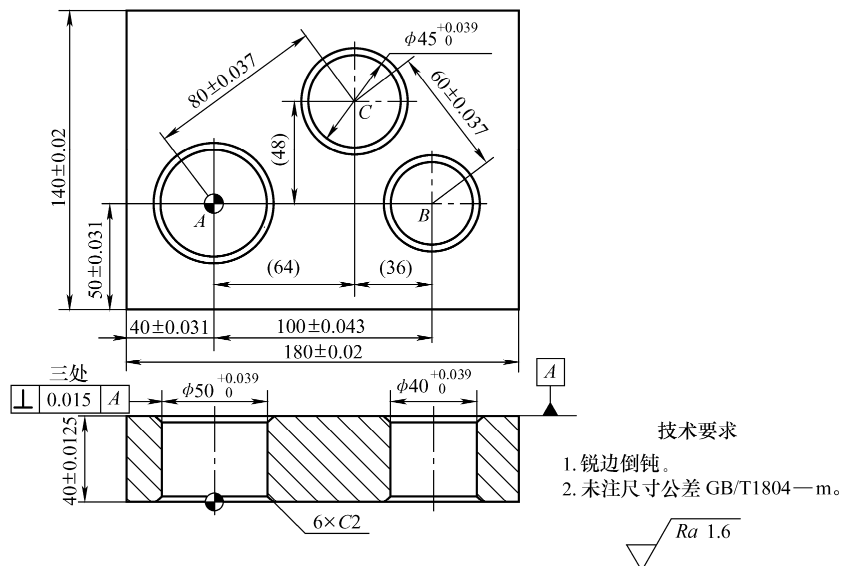


图5-11 实例54零件图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选用ϕ20mm超硬三刃立铣刀。

零件加工材料为45钢，调质处理，精加工可选择较大的主轴转速，进给速度可以选择得小些。根据加工要求，切削用量的选择见表5-23。

表5-23 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	铣孔	T01	ϕ20 mm立铣刀	1800	60

3. 参考程序

在配置FANUC 0i系统的数控铣床上加工，编制的数控加工参考程序见表5-24。

表5-24 数控加工参考程序

程序	说明
O5401；	主程序名
N010 G55 G90 G94；	设置初始状态

（续）

程　　序	说　　明
N015 M03 S1800 ；	设置铣削加工参数
N020 G00 X0.0 Y0.0；	快速移到 *A* 点上方
N030 Z50.0；	快速移到初始平面
N040 G00 Z5.0；	快速移至 *R* 平面
N050 G01 Z0.0 F60；	
N060 G01 X15.0 F200；	刀位点移到螺旋线起点
N070 M98 P2 L140；	调子程序，执行 140 次
N080 G90 G01 X0.0 Y0.0；	
N090 G00 Z50.0；	
N100 M05；	
N110 G00 X100.0 Y0.0；	快速移到 *B* 点上方
N120 M03；	
N130 G00 Z5.0；	快速移至 *R* 平面
N140 G01 Z0.0 F60；	
N150 G91 G01 X10.0 F200；	刀位点移到螺旋线起点
N160 M98 P3 L140；	调子程序，执行 140 次
N170 G90 G01 X100.0 Y0.0；	
N180 G00 Z50.0；	
N190 G00 X0.0 Y0.0；	
N200 M05；	
N210 G00 X64.0 Y48.0；	快速移到 *C* 点上方
N220 M03；	
N230 G00 Z5.0；	快速移至 *R* 平面
N240 G01 Z0.0 F60；	
N250 G91 G01 X12.5 F200；	刀位点移到螺旋线起点
N260 M98 P4 L140；	调子程序，执行 140 次
N270 G90 G01 X64.0 Y48.0；	
N280 G00 Z50.0；	
N290 M05；	
N300 G90 G00 Z200.0；	返回到安全高度
N310 X0.0 Y0.0；	返回到刀具起始点
N320 M30；	程序结束
O0002	子程序名（铣ϕ50mm 孔）
N010 G91 G03 I−15.0 Z−0.3 F400；	增量编程，向下螺旋线插补，导程 0.3mm
N020 M99；	子程序结束
O0003	子程序名（铣ϕ40mm 孔）
N010 G91 G03 I−10.0 Z−0.3 F400；	增量编程，向下螺旋线插补，导程 0.3mm
N020 M99；	子程序结束
O0004	子程序名（铣ϕ45mm 孔）
N010 G91 G03 I−12.5 Z−0.3 F400；	增量编程，向下螺旋线插补，导程 0.3mm
N020 M99；	子程序结束

5.4.3 实例 55——孔系编程加工（三）

1. 零件工艺分析

图 5-12 所示零件上 4 个螺纹孔大小相同，距离均匀，采用钻中心孔、钻孔、攻螺纹的加工方案。零件采用机用虎钳装夹，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。工件 G54 坐标原点建立在工件的对称中心处，*Z* 轴零点在工件上表面。工件坐标系建立后，4 个螺纹孔的位置坐标便可以求出，分别为（15，15）、（−15，15）、（15，−15）、（−15，−15）。

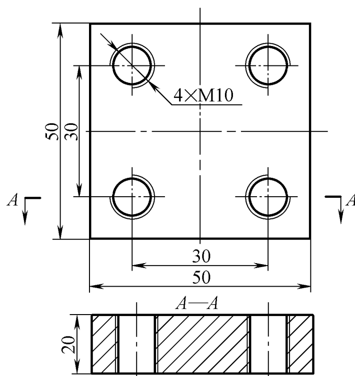


图 5-12 实例 55 零件图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，钻孔选用ϕ8.5mm 的麻花钻钻螺纹底孔，M10 丝锥攻 M10 螺纹，另选ϕ3mm 中心钻一把。

零件毛坯尺寸 50mm×50mm×20mm，加工材料为硬铝。加工铝件时，钻孔速度可以提高，攻螺纹时可以低速或高速加工，工件较薄时可以选择高速攻螺纹。本例宜低速攻螺纹，根据加工要求，切削用量的选择见表 5-25。

表 5-25 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/min）
1	钻中心孔	T01	ϕ3 mm 中心钻	1000	100
2	钻 M10 螺纹底孔	T02	ϕ8.5 mm 麻花钻	800	100
3	攻 M10 螺孔	T03	M10 丝锥	100	150

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的加工中心上加工，编制的数控加工参考程序见表 5-26。

表 5-26 数控加工参考程序

程序	说明
O5501；	主程序名
N010 G40 G80 G17 G49；	设置初始状态
N020 T01 M06；	调用 1 号ϕ3mm 中心钻
N030 G90 G54 G00 X−15.0 Y15.0；	

（续）

程　　序	说　　明
N040 M03 S1000;	
N050 G43 Z5.0 H01 M08;	刀具长度补偿
N060 G99 G81 Z-3.0 R5.0 F100;	调用钻孔循环
N070 Y-15.0;	钻中心孔
N080 X15.0;	钻中心孔
N090 Y15.0;	钻中心孔
N100 G80 G00 Z200.0;	取消钻孔循环
N110 M05 M09;	
N120 T02 M06;	调用 2 号 ϕ8.5mm 麻花钻
N130 G90 G54 G00 X-15.0 Y15.0;	
N140 M03 S800;	
N150 G43 Z5.0 H02 M08;	刀具长度补偿
N160 G99 G83 Z-23.0 R5.0 Q3.0 F100;	调用钻孔循环
N170 Y-15.0;	钻 M10 螺纹底孔
N180 X15.0;	钻 M10 螺纹底孔
N190 Y15.0;	钻 M10 螺纹底孔
N200 G80 G00 Z200.0;	取消钻孔循环
N210 M05 M09;	
N220 T03　M06;	调用 3 号 M10 丝锥
N230 G90 G54 G00 X-15.0 Y15.0;	
N240 M03 S100;	
N250 G43 Z5.0 H03 M08;	刀具长度补偿
N260 G99 G84 Z-23.0 R5.0 F150;	调用攻螺纹循环
N270 Y-15.0;	攻 M10 螺孔
N280 X15.0;	攻 M10 螺孔
N290 Y15.0;	攻 M10 螺孔
N300 G80 G00 Z200.0;	取消攻螺纹循环
N310 M05 M09;	
N320 M30;	程序结束

5.4.4　实例 56——孔系编程加工（四）

1. 零件工艺分析

图 5-13 所示零件上两个不通孔的孔径较大，精度较高，表面质量高，采用镗孔作为孔的精加工方法，之前还需安排钻孔、扩孔、铣孔等加工工序。根据零件的设计基准，采用机用虎钳装夹工件，选用工件上表面对称中心作为工件坐标系原点。

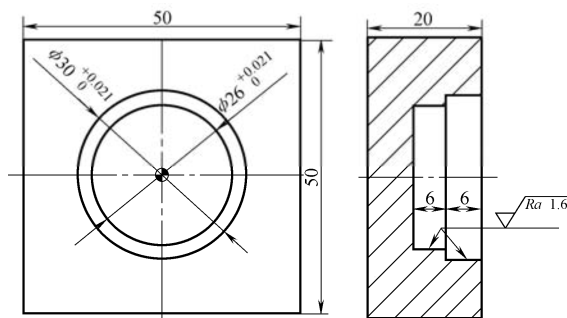


图 5-13 实例 56 零件图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选用ϕ3mm 中心钻、ϕ25mm 麻花钻、ϕ20mm 键槽铣刀、ϕ26mm 精镗刀、ϕ30mm 精镗刀各一把。

零件毛坯尺寸为 50mm×50mm×20mm，加工材料为硬铝。加工铝件时，钻孔和粗铣孔速度要低，镗孔精度要求较高，可以减少切削余量，提高主轴转速，降低进给速度，切削用量的选择参见表 5-27。

表 5-27 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	钻中心孔	T01	ϕ3mm 中心钻	1000	100
2	钻孔	T02	ϕ25mm 麻花钻	400	100
3	铣孔	T03	ϕ20mm 键槽铣刀	800	100
4	镗ϕ26mm 孔	T04	ϕ26mm 精镗刀	1200	80
5	镗ϕ30mm 孔	T05	ϕ30mm 精镗刀	1200	80

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的加工中心上加工，编制的数控加工参考程序见表 5-28。

表 5-28 数控加工参考程序

程序	说明
O5601；	主程序名
N010 G40 G80 G17 G49；	设置初始状态
N020 T01 M06；	调用 1 号ϕ3mm 中心钻
N030 G90 G54 G00 X0.0 Y0.0；	
N040 M03 S1000；	
N050 G43 Z5.0 H01 M08；	刀具长度补偿
N060 G99 G81 Z-3.0 R5.0 F100；	调用钻孔循环
N070 G80 G00 Z200.0；	取消钻孔循环
N080 M05 M09；	
N090 T02 M06；	调用 2 号ϕ25mm 麻花钻
N100 G90 G54 G00 X0.0 Y0.0；	

（续）

程　　序	说　　明
N110 M03 S400；	
N120 G43 Z5.0 H02 M08；	刀具长度补偿
N130 G99 G83 Z-12.0 R5.0 Q3.0 F100；	调用钻孔循环
N140 G80 G00 Z200.0；	取消钻孔循环
N150 M05 M09；	
N160 T03 M06；	调用 3 号 ϕ20mm 键槽铣刀
N170 G90 G54 G00 X0.0 Y0.0；	
N180 M03 S800；	
N190 G43 Z5.0 H03 M08；	刀具长度补偿
N200 G01 Z-6 F100；	铣孔，深 6mm
N210 G91 G01 X4.9；	
N220 G02 I-4.9；	
N230 G90 G01 X0.0 Y0.0；	
N240 G01 Z-12.0；	
N250 G91 G01 X2.9；	
N260 G02 I-2.9；	
N270 G90 G01 X0.0 Y0.0；	
N280 G00 Z200.0；	
N290 M05 M09；	
N300 T04 M06；	调用 4 号 ϕ26mm 精镗刀
N310 G90 G54 G00 X0.0 Y0.0；	
N320 M03 S1200；	
N330 G43 Z5.0 H04 M08；	刀具长度补偿
N340 G99 G85 Z-12.0 R5.0 F80；	调用镗孔循环，镗孔深度 12mm
N350 G80 G00 Z200.0；	取消镗孔循环
N360 M05 M09；	
N370 T05　M06；	调用 5 号 ϕ30mm 精镗刀
N380 G90 G54 G00 X0.0 Y0.0；	
N390 M03 S1200；	
N400 G43 Z5.0 H05 M08；	刀具长度补偿
N410 G99 G85 Z-6.0 R5.0 F80；	调用镗孔循环，镗孔深度 6mm
N420 G80 G00 Z200.0；	取消镗孔循环
N430 M05 M09；	
N440 M30；	程序结束

5.5　型腔类零件编程加工（2 例）

5.5.1　实例 57——型腔类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 5-14 所示型腔零件底部和四周轮廓不需要加工，宜采用一次装夹连续完成型腔加

工。工件毛坯的外形为长方体，为使定位和装夹准确、可靠，选择机用虎钳进行装夹。

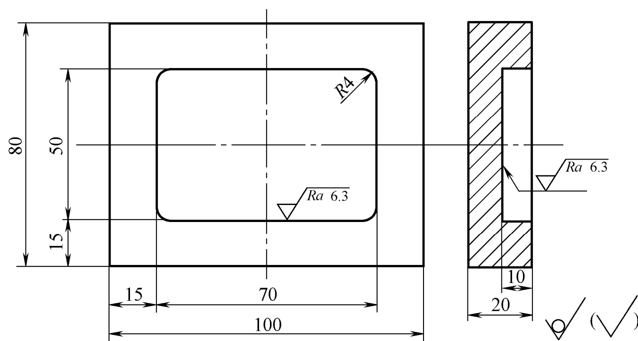


图 5-14　实例 57 零件图

将工件坐标系建立在工件中心点上表面，每次铣削 2mm 深度。每层刀具轨迹以 *A*→*B*→*C*→*D*→*E*→*F*→*G* 作为一个循环单元，反复循环多次，刀心轨迹坐标、循环次数及步进量计算如图 5-15 所示。

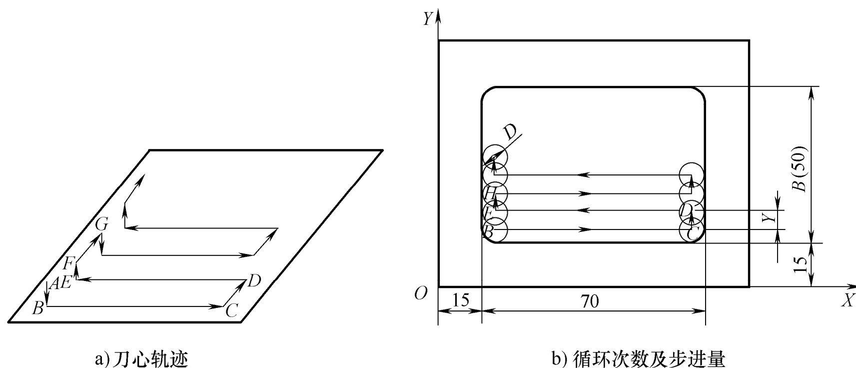


图 5-15　刀心轨迹坐标计算图

设循环次数为 *N*，*Y* 方向的步距为 *Y*，步进方向槽宽为 *B*，刀具直径为 *D*，则有如下关系：

循环 1 次，铣出槽宽为 *Y*+*D*；

循环 2 次，铣出槽宽为 3*Y*+*D*；

循环 3 次，铣出槽宽为 5*Y*+*D*；

……

循环 *N* 次，铣出槽宽为（2*N*−1）*Y*+*D*=*B*

将 *B*=50，*D*=8 代入上式，得（2*N*−1）*Y*=42，取 *N*=4（必须为整数），得 *Y*=6。刀具轨迹有 2mm 重叠，可行。

此外，*B* 点坐标 *X*=−35+0.5*D*=−31，同理，*Y*=−21。*C* 点坐标 *X*=31，*Y*=−21。

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，铣削型腔采用ϕ8mm 高速钢立铣刀。

零件加工材料为 45 钢，半精加工可选择较大的主轴转速，进给速度可以选择小些。根据加工要求，切削用量的选择见表 5-29。

表 5-29 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/min）
1	铣削型腔	T01	ϕ8mm 立铣刀	1500	100

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控铣床上加工，编制的数控加工参考程序见表 5-30。

表 5-30 数控加工参考程序

程序	说明
O5701；	主程序名
N010 G90 G54 G00 X0.0 Y0.0；	
N020 M03 S1500；	
N030 G43 H01 Z2.0；	
N040 G00 X-31.0 Y-21.0 M08；	
N050 M98 P43321；	调用子程序铣削型腔
N060 G90 G00 Z2.0；	
N070 G00 X-31.0 Y-21.0；	
N080 G01 Z-2.0 F100；	
N090 M98 P43321；	调用子程序铣削型腔
N100 G90 G00 Z2.0；	
N110 G00 X-31.0 Y-21.0；	
N120 G01 Z-4.0 F100；	
N140 M98 P43321；	调用子程序铣削型腔
N150 G90 G00 Z2.0；	
N160 G00 X-31.0 Y-21.0；	
N170 G01 Z-6.0 F100；	
N180 M98 P43321；	调用子程序铣削型腔
N190 G90 G00 Z2.0；	
N200 G00 X-31.0 Y-21.0；	
N210 G01 Z-8.0 F100；	
N220 M98 P43321；	调用子程序铣削型腔
N230 G90 G00 Z100.0 M09；	
N240 X0.0 Y0.0 M05；	
N250 M30；	
O3321；	子程序（铣型腔）
N010 G91 G01 Z-4.0 F100；	
N020 X62.0；	
N030 Y6.0；	
N040 X-62.0；	
N050 Z4.0；	
N060 Y9.0；	
N070 M99；	程序结束

5.5.2 实例 58——型腔类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

图 5-16 工件铣削型腔之前，型腔立面已完成预加工，留半精加工余量为 0.4mm，宜采用一次装夹连续完成型腔加工。工件装夹以底面和侧面为定位基准，用百分表找正侧面与机床坐标 *X* 轴平行，找平工件上表面，采用螺钉、压板夹紧，固定于铣床工作台上。根据工件坐标系建立原则，工件坐标系原点设置在工件上表面的几何中心上。

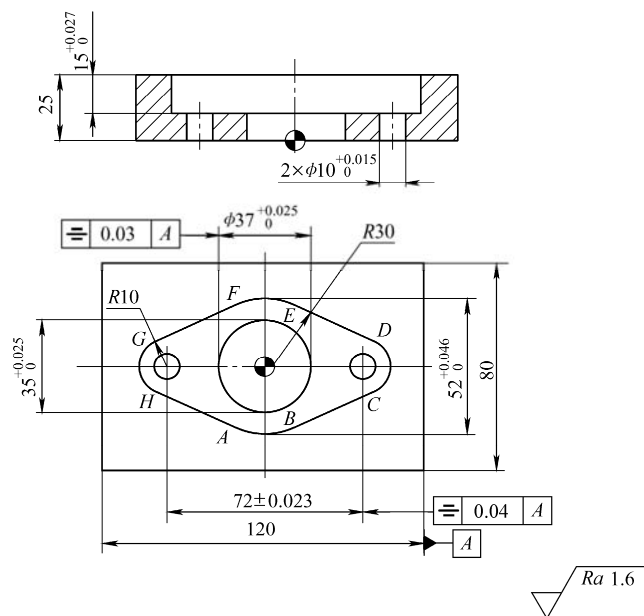


图 5-16 实例 58 零件图

根据图样要求，为了便于加工，确定加工路线按照 *ABCDEFGH* 的顺序进行。各基点坐标值见表 5-31。

表 5-31 基点的坐标值 （单位：mm）

基 点	坐标（*X*，*Y*）	基 点	坐标（*X*，*Y*）
A	（−13.714，−22.682）	*E*	（13.714，22.682）
B	（13.714，−22.682）	*F*	（−13.714，22.682）
C	（40.567，−8.896）	*G*	（−40.567，8.896）
D	（40.567，8.896）	*H*	（−40.567，−8.896）

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，铣削型腔采用ϕ16mm 高速钢立铣刀。

零件加工材料为 45 钢，半精加工可选择较大的主轴转速，进给速度可以选择小些，型腔深度较大，分 3 次切削。根据加工要求，切削用量的选择见表 5-32。

表 5-32　刀具及切削用量选择

序　　号	工 步 内 容	刀　具　号	刀具名称及规格	切 削 用 量	
				主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/min）
1	铣削型腔	T01	ϕ16mm 立铣刀	800	100

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控铣床上加工，编制的数控加工参考程序见表 5-33。

表 5-33　数控加工参考程序

程　　序	说　　明
O5801；	主程序名
N010 G54 G90 G94；	设置初始状态
N015 M03 S800；	设置加工参数
N020 G00 X0.0 Y0.0；	
N030 Z80.0；	定位到初始高度
N040 G49 G00 Z50.0；	到安全平面
N050 G00 X0.0 Y0.0；	到下刀点的上方
N060 Z5.0；	到 *R* 面
N070 M98 P2 L3；	调用子程序，执行 3 次
N080 G90 G00 Z80.0；	返回初始平面
N090 M05；	
N100 G90 G00 Z200.0；	返回到安全高度
N110 X0.0 Y0.0；	返回到刀具起始点
N120 M30；	程序结束
O0002；	子程序名
N010 G91 G01 Z-5.0 F30；	增量编程，*Z* 向进刀-5mm
N020 M98 P3；	调用子程序铣削型腔
N030 M99；	子程序结束
O0003；	子程序名
N010 G90 G41 D01 X-18.024 Y-9.255 F100；	建立刀具半径左补偿
N020 G03 X-13.714 Y-22.682 R10.0；	沿 1/4 圆弧切入型腔
N030 G03 X13.714 Y-22.682 R30.0；	铣削 *AB* 段圆弧
N040 G01 X40.567 Y-8.896；	
N050 G03 X40.567 Y8.896 R10.0；	铣削 *CD* 段圆弧
N060 G01 X13.714 Y22.682；	
N070 G03 X-13.714 Y22.682 R30.0；	铣削 *EF* 段圆弧
N080 G01 X-40.567 Y8.896；	
N090 G03 X-40.567 Y-8.896 R10.0；	
N100 G01 X-13.714 Y-22.682；	
N110 G03 X-0.236 Y-18.397 R10.0；	沿 1/4 圆弧切出型腔
N120 G40 G01 X0.0 Y0.0；	取消刀具半径左补偿，回到下刀点
N130 G01 Z5.0 F200；	回到 *R* 面
N140 M99；	子程序结束

5.6 曲面类零件编程加工（2 例）

5.6.1 实例 59——曲面类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 5-17 所示零件底面和四周轮廓不需要加工，在零件上有 2 个加工特征，分别是外轮廓和 *R*3mm 圆角，圆角加工程序采用宏指令编程。工件毛坯的外形为长方体，为使定位和装夹准确、可靠，选择机用虎钳进行装夹。零件的设计基准在工件上表面的中心，根据基准重合原则，将工件坐标系建立在工件中心点上表面。

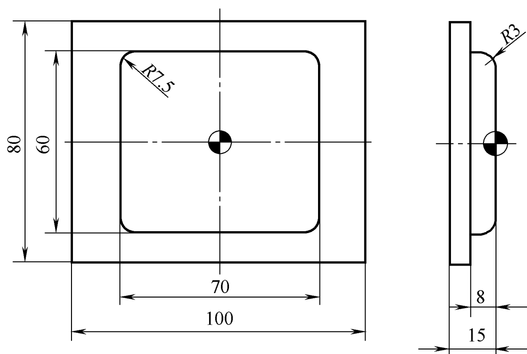


图 5-17 实例 59 零件图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选用ϕ16mm 平底立铣刀铣削轮廓，选用 *R*4mm 球头刀铣削 *R*3mm 圆角。

零件加工材料为 45 钢，毛坯尺寸 100mm×80mm×15mm，根据加工要求，切削用量的选择见表 5-34。

表 5-34 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	铣削轮廓	T01	ϕ16mm 立铣刀	600	150
2	*R*3mm 圆角加工	T02	*R*4 mm 球头刀	2000	1000

3. 参考程序

在配置 FANUC 系统的加工中心上加工，数控加工参考程序见表 5-35。

表 5-35 数控加工参考程序（主程序）

程序	说明
O5901；	主程序名
N010 G91 G28 Z0；	*Z* 轴回零
N020 T01 M06；	换 1 号ϕ16mm 立铣刀
N030 G54 G90 G00 X0.0 Y-60.0；	刀具位于（0，-60）正上方
N040 S600 M03；	主轴正转

（续）

程　　序	说　　明
N050 G43 Z50.0 H01 M08；	刀具位于工件上表面 50.0mm 处，切削液开
N060 G00 Z5.0；	快速下刀至工件表面 5mm
N070 G01 Z-4.0 F150；	下刀至切深 *Z*-4.0
N080 D01 M98 P2；	调用轮廓加工子程序
N090 G01 Z-8.0 F150；	下刀至 *Z*-8.0
N100 D01 M98 P2；	调用轮廓加工子程序
N105 G00 Z5.0 M09；	快速提刀至工件表面，切削液关
N110 G00 Z20.0 M05；	快速提刀至安全高度，主轴停转
N120 G97 G28 Z0；	*Z* 轴自动回零
N130 T02 M06；	换 2 号 *R*4mm 球头刀
N140 G54 G90 G00 X0 Y-60.0；	刀具位于（0，-60）正上方
N150 S200 M03；	主轴正转
N160 G43 Z50.0 H02 M08；	刀具位于工件上表面 50mm 处，切削液开
N170 G00 Z5.0；	球头刀半径
N190 #2=3；	倒角半径
N200 #3=90；	角度变量，从顶部开始加工
N210 WHILE [#3 GE 0] DO1；	循环判断，若#3 大于等于 0（即未到底部），循环 1 继续
N220 #4= [#1+#2]*COS[#3]-#2；	计算半径补偿 D02=#4
N230 #5= [#1+#2]*SIN[#3]-[#1+#2]；	计算刀具 *Z* 坐标
N240 #13002=#4；	D02=#4
N250 G01 Z#5 F1000；	*Z* 向运动
N270 D02 M98 P2；	调用轮廓加工子程序
N280 #3=#-1；	角度减 1
N290 END1；	循环 1 结束
N300 G01 Z5.0 M09；	快速提刀至工件表面，切削液关
N310 G00 Z5.0 M05；	快速提刀至安全高度，主轴停转
N320 M30；	主程序结束
O2；	子程序名（轮廓加工）
N010 G41 G01 X20.0 Y50.0；	建立刀具半径补偿
N020 G03 X0 Y-30.0 R10.0；	
N030 G01 X-27.5 Y-30.0；	
N040 G02 X35.0 Y-22.5 R7.5；	
N050 G01 X-22.5；	
N060 G02 X-27.5；	
N070 G01 X27.5 Y30.0 R7.5；	
N080 G05 X35.0 Y22.5 R7.5；	
N090 G01 X35.0 Y-22.5；	
N100 G02 X27.2 Y-30.0 R7.5；	
N110 G01 X0.0 Y30.0；	
N120 G03 X-20.0 Y-50.0 R20.0；	
N130 G40 G01 X40.0 Y-60.0；	取消刀具半径补偿
N140 M99；	子程序结束

5.6.2 实例 60——曲面类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

图 5-18 零件为椭圆外轮廓的加工。采用宏指令编程来完成椭圆曲线的编程加工。零件采用机用虎钳装夹方式，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。工件坐标系建立在工件的对称中心上，*Z* 轴零点在工件上表面，用 G54 调用。

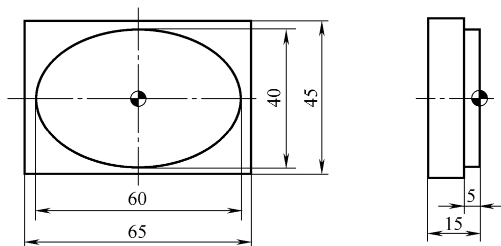


图 5-18 实例 60 零件图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选用ϕ16mm 平底立铣刀铣削轮廓。

零件加工材料为 45 钢，毛坯尺寸 65mm×45mm×15mm，根据加工要求，切削用量的选择见表 5-36。

表 5-36 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/min）
1	铣削轮廓	T01	ϕ16mm 立铣刀	600	120

3. 参考程序

在配置 FANUC 系统的加工中心上加工，数控加工参考程序见表 5-37。

表 5-37 数控加工参考程序

程序	说明
O6001；	主程序名
N010 T01 M06；	调用 1 号ϕ16mm 立铣刀
N020 G90 G54 G00 X0.0 Y0.0 S600 M03；	
N040 G00 X50.0；	
N050 Z10.0；	
N060 M08；	
N070 #100=30；	设定椭圆长半轴长
N090 #101=20；	设定椭圆短半轴长
N100 #102=0；	设定椭圆切削起点角度
N110 #103=360；	设定椭圆切削终点角度
N120 #104=1；	设定角度值每次增加量
N130 WHILE [#102 LE #103] DO1；	判断角度值是否到达终点，当条件不满足时，退出循环体

（续）

程　　序	说　　明
N140 #15=#100*COS[#2]；	计算椭圆圆周上的点坐标
N150 #106=#101*SIN[#2]；	计算椭圆圆周上的点坐标
N160 G42 G01 X[#105] Y[#106] D01 F120；	进给至轮廓点的位置
N170 Z-5.0；	*X* 方向进给
N180 #102= #102+#104；	角度值递增
N190 END1；	循环体结束
N200 G40 G01 X50.0；	取消刀补
N210 G00 Z50.0；	
N220 M05 M09；	
N230 M30；	程序结束

5.7 综合类零件编程加工（4 例）

5.7.1 实例 61——综合类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 5-19 所示的泵盖零件形状规则，主要由平面外形轮廓、型腔、孔组成，总体尺寸不大，尺寸精度和表面粗糙度要求不高，无具体几何公差要求，零件形状规则，六面已加工，故采用机用虎钳直接装夹。工件上表面的中心点作为工件坐标系原点。用寻边仪找正其中心点，以工件上表面进行对刀。

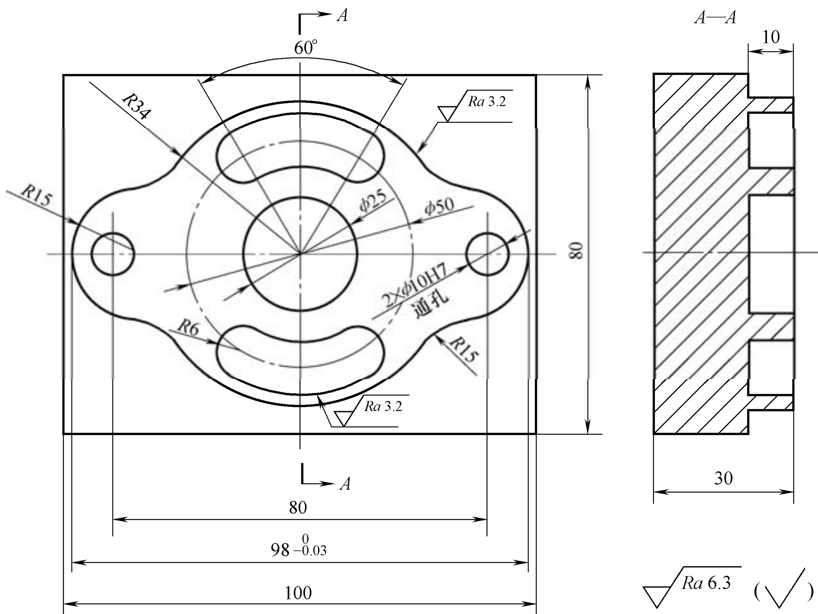


图 5-19　实例 61 零件图

2. 刀具与切削用量选择

外轮廓加工时，为了提高切削效率采用较大直径铣刀加工，根据零件上最小凹圆弧半径为 R15mm，外轮廓加工选用ϕ20mm 立铣刀。腰形圆角半径为 R6mm，所以选用ϕ12mm 立铣刀作为加工刀具。

毛坯为 100mm×80mm×30mm 板材，工件材料为 45 钢，根据加工要求，切削用量的选择见表 5-38。

表 5-38 刀具及切削用量选择

序 号	工 步 内 容	刀 具 号	刀具名称及规格	切 削 用 量	
				主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/min）
1	粗加工外轮廓	T01	ϕ20mm 立铣刀	600	120
2	精加工外轮廓	T01	ϕ20mm 立铣刀	800	100
3	铣腰形槽	T02	ϕ12mm 立铣刀	800	60
4	铣ϕ30mm 平底孔	T02	ϕ12mm 立铣刀	800	60
5	钻孔	T03	ϕ9.8mm 麻花钻	650	60
6	铰孔	T04	ϕ10H7 铰刀	120	20

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控铣床上加工，编制的数控加工参考程序见表 5-39～表 5-42。

表 5-39 数控加工参考程序（外轮廓铣削）

程 序	说 明
O6101；	主程序名（外轮廓铣削）
N010 M03 S600；	
N020 G54 G00 X55.0 Y-80.0 Z10.0；	
N030 G01 Z-5.0 F120；	
N040 G42 G01 X49.0 Y-60.0 D01；	D01 粗加工设为 10.2mm，精加工设为 10mm
N050 Y0.0；	
N060 G03 X36.54 Y14.78 R15.0；	
N070 G02 X27.11 Y20.52 R15.0；	
N080 G03 X-27.11 Y20.52 R34.0；	
N090 G02 X-36.54 Y14.78 R15.0；	
N100 G03 X-36.54 Y-14.16 R15.0；	
N110 G02 X-27.11 Y-20.52 R15.0；	
N120 G03 X27.11 Y-20.52 R34.0；	
N130 G02 X36.54 Y-14.78 R15.0；	
N140 G03 X49.0 Y0.0 R15.0；	
N150 G01 Y10.0；	
N160 Z10.0；	
N170 G40 G0 X60.0 Y20.0；	
N180 M30；	程序结束

表 5-40　数控加工参考程序（型腔铣削）

程　　序	说　　明
O6102；	主程序名（型腔铣削）
N010 M03 S800；	
N020 G54 G00 X12.5 Y21.65 Z10.0；	
N030 G01 Z2.0 F60；	铣腰形槽
N040 G03 X-12.5 Y21.65 Z-5.0 R25.0；	
N050 G02 X12.5 Y21.65 Z-10.0 R25.0；	
N060 G03 X-12.5 Y21.65 Z-10.0 R25.0；	
N070 G01 Z10.0；	
N080 G00 X-12.5 Y-21.65；	
N090 G01 Z2.0；	
N100 G03 X12.5 Y-21.65 Z-5.0 R25.0；	
N110 G02 X-12.5 Y-21.65 Z-10.0 R25.0；	
N120 G03 X12.5 Y-21.65 Z-5.0 R25.0；	
N130 G01 Z10.0；	
N140 G00 X0.0 Y0.0；	
N150 G01 Z2.0 F60；	
N160 X6.5 Y0；	
N170 G03 I-6.5 J0 Z-5.0；	铣平底孔
N180 G03 I-6.5 J0 Z-10.0；	
N190 G03 I-6.5 J0；	
N200 G01 Z10.0；	
N210 G00 X100.0 Y100.0；	
N220 Z100.0；	
N230 M30；	程序结束

表 5-41　数控加工参考程序（钻孔）

程　　序	说　　明
O6103；	主程序名（钻孔）
N010 M03 S650；	
N020 G55 G00 X40.0 Y0 Z5.0；	
N030 G01 Z-40.0 F60；	
N040 G00 Z10.0；	
N050 X-40.0；	
N060 G01 Z-40.0；	
N070 G00 Z100.0；	
N080 M30；	程序结束

表 5-42　数控加工参考程序（铰孔）

程　　序	说　　明
O6104；	主程序名（铰孔）
N010 M03 S120；	
N020 G56 G00 X40.0 Y0.0 Z5.0；	
N030 G01 Z-40.0 F20；	
N040 Z10.0；	
N050 G00 X-40.0；	
N060 G01 Z-40.0；	
N070 Z5.0；	
N080 G00 Z100.0；	
N090 M30；	程序结束

5.7.2 实例 62——综合类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

如图 5-20 所示，该零件由方凸台、梅花型腔、阶梯孔、四个均布孔组成。梅花型腔切入和切出安排在型腔中部，精加工采用改变刀具半径补偿值的方法加工，钻孔加工可用高速深孔钻循环指令 G83，铰孔加工可用高速深孔钻循环指令 G85。

采用机用虎钳装夹工件，工件对称中心及上表面作为工件坐标系原点。

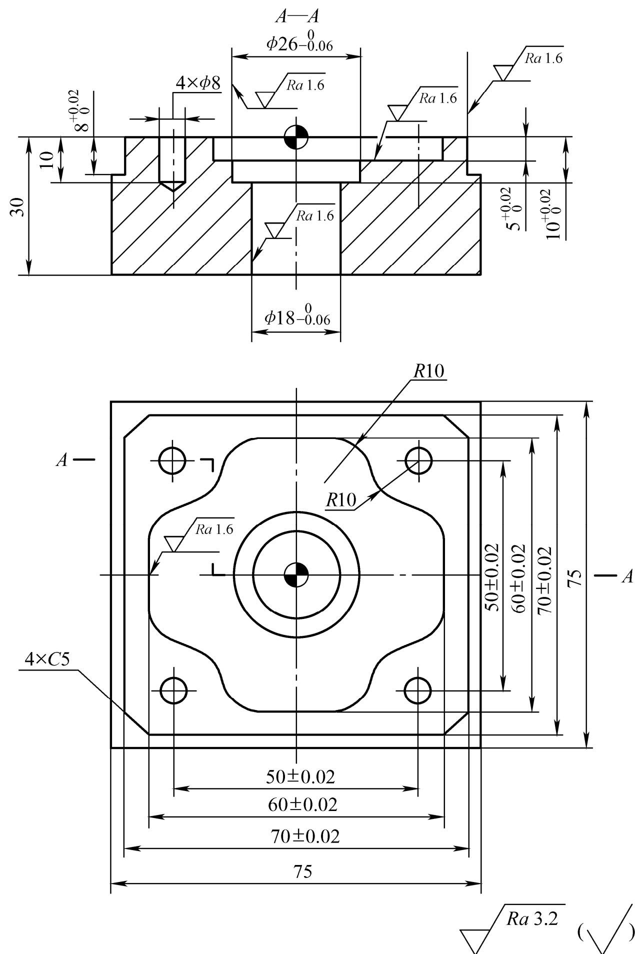


图 5-20 实例 62 零件图

2. 刀具与切削用量选择

粗、精加工凸台外形，选用ϕ12mm 硬质合金三刃立铣刀；铣削梅花型腔，选用ϕ10mm 高速钢三刃立铣刀；点孔加工 4×ϕ8mm 及ϕ18mm，选用ϕ3mm 中心钻；钻孔加工，选用ϕ8mm、ϕ17.9mm 麻花钻；铰孔加工，选用ϕ18H9 铰刀；镗阶梯孔，选用ϕ26mm 高速钢三刃立铣刀。

毛坯为 75mm×75mm×30mm 材，工件材料为 45 钢，根据加工要求，切削用量的选择见表 5-43。

表 5-43　刀具及切削用量选择

序　　号	工 步 内 容	刀　具　号	刀具名称及规格	切 削 用 量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	粗加工凸台	T01	ϕ12mm 立铣刀	500	120
2	精加工凸台	T01	ϕ12mm 立铣刀	700	80
3	粗加工梅花型腔	T03	ϕ10mm 立铣刀	500	120
4	精加工凹型腔	T03	ϕ10mm 立铣刀	800	80
5	点孔加工	T04	ϕ3mm 中心钻	1200	120
6	钻孔加工	T05	ϕ8mm 麻花钻	800	50
7	钻孔加工	T06	ϕ17.9mm 麻花钻	800	50
8	镗孔加工	T07	ϕ26mm 立铣刀	500	30
9	铰孔加工	T08	ϕ18H9 铰刀	300	30

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控铣床上加工，编制的数控加工参考程序见表 5-44～表 5-48。

表 5-44　数控加工参考程序（铣外形）

程　　序	说　　明
O 6201；	主程序名（铣外形）
N010 G54 G90 G40 G49；	设置初始状态
N015 M03 S500；	
N020 G00 Z30.0；	
N030 X60.0 Y-60.0；	
N040 G01 Z-8.0 F100；	
N050 G41 X30.0 Y-35.0 D01；	建立刀具半径左补偿
N055 X30.0；	
N060 X-30.0；	
N070 X-35.0 Y-30.0；	
N080 Y30.0；	
N090 X-30.0 Y35.0；	
N100 X30.0；	
N110 X35.0 Y30.0；	
N120 Y-30.0；	
N130 X20.0 Y-45.0；	
N140 G00 Z30.0；	
N150 G40 X70.0 Y-35.0；	取消刀具半径补偿
N160 M05；	
N170 M30；	程序结束

表 5-45 数控加工参考程序（ϕ17.9mm 麻花钻钻孔）

程　序	说　明
O6202；	主程序名（ϕ17.9mm 麻花钻钻孔）
N010 G90 G40 G49 M03 S500；	
N020 G00 Z30.0；	
N030 X0.0 Y0.0；	
N040 G01 Z5.0 F100；	
N050 G83 G99 X0.0 Y0.0 Z-17.0 R5.0 Q3.0 F60；	
N060 G80 G00 X70.0 Y0.0；	
N070 G00 Z30.0；	
N080 M05；	
N090 M30；	程序结束

表 5-46 数控加工参考程序（镗孔）

程　序	说　明
O6203；	主程序名（镗孔）
N010 G90 G40 G49 M03 S500；	
N020 G00 Z30.0；	
N030 X0.0 Y0.0；	
N040 G01 Z5.0 F100；	
N060 G98 G85 X0.0 Y0.0 Z-10.0 R5.0 F50；	
N070 G80 G00 X70.0 Y0.0；	
N080 G00 Z30.0；	
N090 M05；	
N100 M30；	程序结束

表 5-47 数控加工参考程序（铣梅花型腔）

程　序	说　明
O6204；	主程序名（铣梅花型腔）
N010 G90 G40 G49 M03 S500；	设置初始状态
N020 G00 Z30.0；	
N030 X0.0 Y0.0；	
N040 G01 Z-5.0 F100；	
N050 G42 X30.0 Y-5.6351 D01；	建立刀具半径右补偿
N060 G02 X22.468 Y-15.3259 R10.0；	
N070 G03 X15.3175 Y-22.5 R10.0；	
N080 G02 X5.635 Y-30.0 R10.0；	
N090 G01 X-5.635；	

（续）

程　　序	说　　明
N100 G02 X-15.3175 Y-22.5 R10.0；	
N110 G03 X-22.468 Y-15.3259 R10.0；	
N120 G02 X-30.0 Y-5.6351 R10.0；	
N130 G01 Y5.6351；	
N140 G02 X-22.468 Y15.3259 R10.0；	
N150 G03 X-15.3175 Y22.5 R10.0；	
N160 G02 X-5.635 Y30.0 R10.0；	
N170 G01 X5.635；	
N180 G02 X15.3175 Y22.5 R10.0；	
N190 G03 X22.468 Y15.3259 R10.0；	
N200 G02 X30.0 Y3.6351 R10.0；	
N210 G01 X30.0 Y-5.6351；	
N220 G02 X22.468 Y-15.3259 R10.0；	
N225 G02 X10.0 Y-10.0 R15.0；	
N230 G00 Z30.0；	
N240 G40 X70.0 Y0.0；	取消刀具半径补偿
N250 M05；	
N260 M30；	程序结束

表 5-48　数控加工参考程序（ϕ8mm 麻花钻钻孔）

程　　序	说　　明
O6205；	主程序名（ϕ8mm 麻花钻钻孔）
N010 G90 G40 G49 M03 S500；	
N020 G00 Z30.0；	
N030 G99 G81 X25.0 Y25.0 Z-10.0 R5.0 F80；	钻孔循环
N040 X-25.0；	
N050 Y-25.0；	
N060 X25.0；	
N070 G80 G00 X70.0 Y0.0；	
N080 M05；	
N090 M30；	程序结束

5.7.3　实例 63——综合类零件编程加工（三）

1. 零件工艺分析

图 5-21 所示零件由前后对称的型腔、孔组成，外轮廓通过不同半径补偿值和子程序实现粗、精加工，内轮廓加工应用子程序分层加工。

采用机用虎钳装夹工件，工件上表面 R12.5mm 的中心点作为工件坐标系原点。用寻边仪找正其中心点，以工件上表面进行对刀。

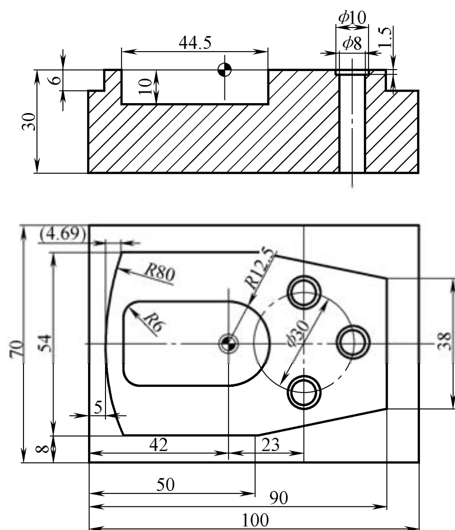


图 5-21　实例 63 零件图

2. 刀具与切削用量选择

加工外轮廓，选用ϕ16mm 平底立铣刀；加工凹型腔，选用ϕ10mm 平底立铣刀，其切入和切出安排在型腔中部；钻孔加工，选用ϕ8mm 直柄麻花钻和ϕ10mm 平底立铣刀。

毛坯为 100mm×100mm×30mm 板材，工件材料为 45 钢，根据加工要求，切削用量的选择见表 5-49。

表 5-49　刀具及切削用量选择

序　　号	工 步 内 容	刀　具　号	刀具名称及规格	切 削 用 量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	加工外轮廓	T01	ϕ16mm 立铣刀	800	200
2	加工凹型腔	T01	ϕ10mm 立铣刀	1000	80
3	钻孔	T02	ϕ8mm 麻花钻	950	180
4	锪孔	T02	ϕ10mm 立铣刀	1500	160

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的加工中心上加工，编制的数控加工参考程序见表 5-50。

表 5-50　数控加工参考程序（铣外形）

程　　序	说　　明
O6301；	主程序名（铣外形）
N010 G54 G40 G90 G17 G49；	设置初始状态
N020 G91 G28 Z0.0；	
N030 T01 M06；	调用 1 号ϕ16mm 立铣刀（长 100mm，基准刀）
N040 G90 G00 X-70.0 Y-45.0；	
N050 M03 S800；	
N060 Z10.0；	
N070 G01 Z-6.0 F100；	
N080 G00 G42 X-60.0 Y-27.0 D01；	粗加工（D01 补偿值 10mm）
N090 G01 X-50.0；	
N100 M98 P1111；	调用子程序，加工外轮廓
N110 G00 G42 X-60.0 Y-27.0 D02；	精加工（D02 补偿值 8mm）
N120 G01 X-50.0；	

（续）

程　　序	说　　明
N130 M98 P1111；	调用子程序，加工外轮廓
N140 G00 Z50.0；	
N150 M05；	
N160 G91 G28 Z0.0；	
N170 T02 M06；	调用 2 号ϕ10 mm 立铣刀（长 70）
N180 G00 G49 G90 X0.0 Y0.0；	
N190 M03 S1000；	
N200 G44 Z10.0 H02；	建立刀具长度补偿（H02=30，短 30mm）
N210 G00 Z2.0；	
N220 G01 Z0.0 F80；	
N230 M98 P2222 L2；	调子程序两次，分层粗加工
N240 S1200；	
N250 G90 G01 X-20.0；	
N260 G41 X0.0 Y0.0 D02；	建立刀具半径补偿补偿，内轮廓精加工
N270 G03 X0.0 Y12.5 R6.25；	1/2 圆弧切入
N280 G01 X-26.0；	
N290 G03 X-32.0 Y6.5 R6.0；	
N300 G01 Y-6.5；	
N310 G03 X-26.0 Y-12.5 R6.0；	
N320 G01 X0.0；	
N330 G03 X0.0 Y12.5 R12.5；	
N340 X0 Y0.0 R6.25；	
N350 G00 Z100.0；	
N360 G40 G49 X100.0 M05；	取消刀补
N370 G91 G28 Z0.0；	
N380 T03 M06；	调用 3 号ϕ8mm 钻头（长 100mm）
N390 G00 G90 X23.0 Y0.0；	
N400 G43 Z20.0 H03；	建立刀具长度补偿（H03=0）
N410 M03 M08 S950；	
N420 G99 G83 X38.0 Y0.0 R5.0 Q8.0 Z-33.0；	深孔钻循环
N430 X23.0 Y15.0；	
N440 Y-15.0；	
N450 G80；	取消循环
N460 M05；	
N470 G91 G28 Z0.0；	
N480 T02 M06；	
N490 G00 G90 X0.0 Y0.0 M03 S1500；	
N500 G44 Z20.0 H02；	
N510 G82 X23.0 Y15.0 R5.0 P5000 Z-1.5；	锪孔
N520 Y-15.0；	
N530 X38.0 Y0.0；	
N540 G80；	取消循环
N550 M05；	
N560 G00 X150.0 Y150.0；	
N570 M30；	程序结束
O1111；	子程序名（外轮廓）
N010 G01 X8.0 Y-27.0 F200；	
N020 X48.0 Y-19.0；	

（续）

程　　序	说　　明
N030 Y19.0；	
N040 X8.0 Y27.0；	
N050 X-32.307；	
N060 G03 Y-27.0 R80.0；	
N070 G01 X-30.0；	
N080 G00 G40 Y-45.0；	
N090 X-70.0；	
N100 M99；	子程序结束
O2222；	子程序名（内轮廓）
N010 G91 G01 X-26.0 Y0.0 Z-5.0；	增量编程
N020 Y6.5；	
N030 X26.0；	
N040 G02 X0 Y-13.0 R6.5；	
N050 G01 X-26.0；	
N060 Y6.5；	
N070 X26.0；	
N080 M99；	子程序结束

5.7.4　实例 64——综合类零件编程加工（四）

1．零件工艺分析

如图 5-22 所示，零件外形规则，轮廓复杂，主要由薄壁、偏椭圆型腔、孔系、正五边形轮廓组成，总体尺寸精度不大。尺寸精度和表面质量要求较高，尺寸公差达到 0.021mm，表面粗糙度值要求达到 *Ra*1.6μm，无具体几何公差要求，零件的典型特征为具有平面外形轮廓和特殊型腔。

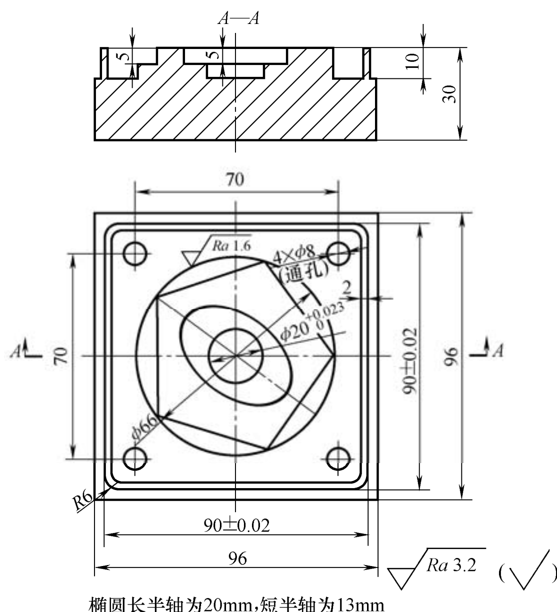


图 5-22　实例 64 零件图

零件形状规则，六面已加工，采用机用虎钳直接装夹，以工件上表面对称中心作为工件坐标系原点。

2. 刀具与及切削用量选择

依据零件加工内容，根据零件结构和形状及最小间隙选择刀具。毛坯为 96mm×96mm×30mm 板材，工件材料为 45 钢，根据加工要求，刀具及切削用量的选择见表 5-51。

表 5-51　刀具及切削用量选择

序　号	工步内容	刀　具　号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	粗铣薄壁外轮廓	T01	ϕ8mm 立铣刀	900	120
2	粗铣薄壁内轮廓	T01	ϕ8mm 立铣刀	900	120
3	精铣薄壁外轮廓	T01	ϕ8mm 立铣刀	1000	100
4	精铣薄壁内轮廓	T01	ϕ8mm 立铣刀	1000	100
5	粗、精加工圆形凸台	T01	ϕ8mm 立铣刀	900	120
				1000	100
6	粗、精加工五边形凸台	T01	ϕ8mm 立铣刀	900	120
				1000	100
7	铣椭圆型腔	T01	ϕ8mm 立铣刀	1000	100
8	铣ϕ20mm 平底孔	T01	ϕ8mm 立铣刀	1000	100
9	钻 4×ϕ8mm 孔	T02	ϕ8mm 麻花钻	600	35

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的数控铣床上加工，编制的数控加工参考程序见表 5-52～表 5-54。

表 5-52　数控加工参考程序（薄壁加工）

程　序	说　明
O6401；	主程序名（薄壁加工）
N010 M03 S900；	
N020 G54 G00 X60.0 Y60.0 Z5.0；	
N030 G42 G00 X50.0 Y50.0 D01；	建立刀具半径补偿（D01 粗铣薄壁外轮廓时设为 4.2mm，精铣时设为 4mm；粗铣薄壁内轮廓时设为-6.2mm，精铣时设为-6mm）
N040 G01 X35.0 Y45.0 Z5.0 F120；	
N050 G01 X0.0 Y45.0 Z-5.0；	
N060 G01 X-37.0 Y45.0；	
N070 G03 X-45.0 Y37.0 R8.0；	

（续）

程　　序	说　　明
N080 G01 X-45.0 Y-37.0；	
N090 G03 X-37.0 Y-45.0 R8.0；	
N100 G01 X37.0 Y-45.0；	
N110 G03 X45.0 Y-37.0 R8.0；	
N120 G01 X45.0 Y37.0；	
N130 G03 X37.0 Y45.0 R8.0；	
N140 G01 X-37.0 Y45.0；	
N150 G01 Z15.0；	
N160 G40 X-50.0 Y50.0；	
N170 M30；	程序结束

表 5-53　数控加工参考程序（凸台、型腔加工）

程　　序	说　　明
O6402；	主程序名（凸台、型腔加工）
N010 M03 S1000；	
N020 G54 G00 X60.0 Y60.0 Z5.0；	
N030 G00 X37.0 Y0；	
N040 G01 Z2.0 F100；	
N050 G02 I-37.0 J0 Z-5.0；	加工圆形凸台
N060 G02 I-37.0 J0 Z-10.0；	
N070 G02 I-37.0 J0；	
N080 G01 Z-5.0；	
N090 G17 G90 G16；	
N100 G01 X37.0 Y72.0；	加工正五边形
N110 Y144.0；	
N120 Y216.0；	
N130 Y288.0；	
N140 Y360.0；	
N150 G15；	
N160 G00 Z5.0；	
N170 G68 X0.0 Y0 R-36.0；	
N180 G00 X0.0 Y-5.0；	
N190 G41 G01 X10.0 Y-3.0 Z-5.0 D01；	
N200 G01 X20.0 Y0.0；	加工椭圆型腔
N210 #1=0；	

（续）

程　　序	说　　明
N220 #2=20*COS[#1]；	
N230 #3=13*SIN[#1]；	
N240 G01 X#2 Y#3 F100；	
N250 #1=#1+1；	
N260 IF [#1 LE 360] GOTO 220；	
N270 G00 Z20.0；	
N280 G40 X30.0 Y10.0；	
N290 G69；	
N300 G00 X0.0 Y0.0；	
N310 G01 Z-3.0；	
N320 G01 X6.0 Y0.0；	加工圆形型腔
N330 G02 I-6.0 J0 Z-10.0；	
N340 G02 I-6.0 J0；	
N350 G00 Z100.0；	
N360 M30；	程序结束

表 5-54　数控加工参考程序（钻孔）

程　　序	说　　明
O6403；	主程序名（钻孔）
N010 M03 S600；	
N020 G55 G00 X60.0 Y60.0 Z50.0；	
N030 G99 G83 X35.0 Y35.0 Z-35.0 R5.0 Q5.0 F35；	
N040 X-35.0 Y35.0；	
N050 X-35.0 Y-35.0；	
N060 X35.0 Y-35.0；	
N070 G80；	
N080 G00 Z100.0；	
N090 M30；	程序结束

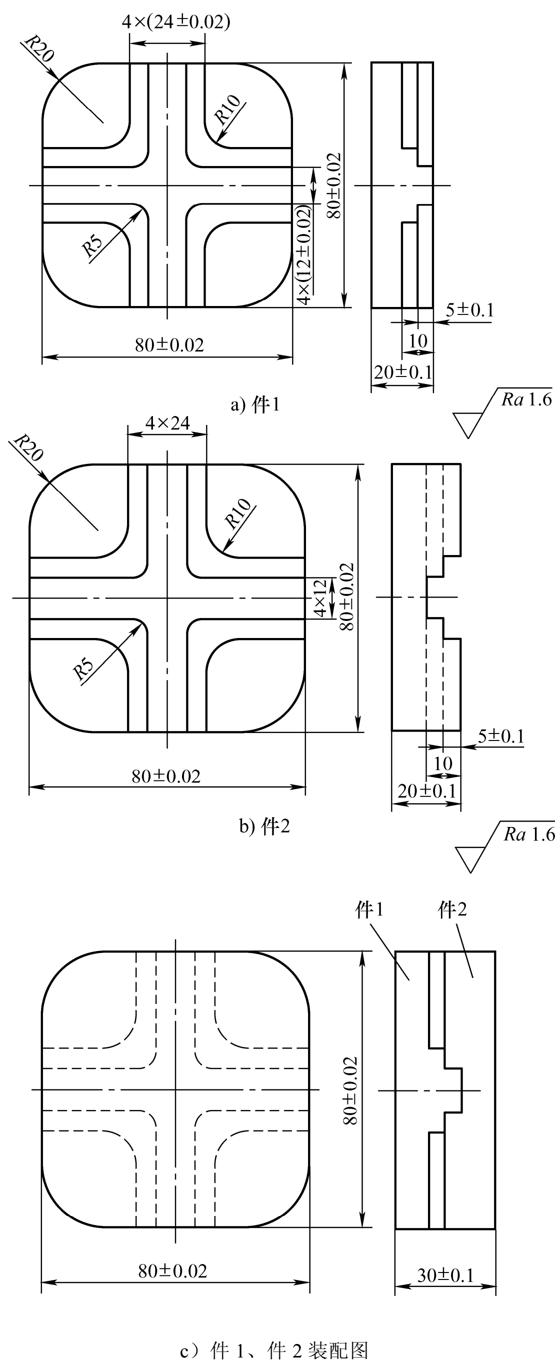
5.8　配合类零件编程加工（2 例）

5.8.1　实例 65——配合类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 5-23 所示为两配合件加工，件 1 为凸件，凸台分两层，均为十字状，件 2 为凹件，外形同件 1，凸台部分变为凹槽，要求两件配合间隙小于等于 0.06mm。

工件装夹选用机用虎钳。首先以毛坯侧面为粗基准定位装夹，加工出两个 *Z* 向的工艺面作为精基准定位并装夹，零件加工完再将两个工艺面设法去除掉。件 1、件 2 工件坐标系零点都位于工件上表面的中心位置。



c）件 1、件 2 装配图

图 5-23 实例 65 零件图与装配图

2. 刀具与切削用量选择

该装配件毛坯是ϕ100mm×22mm 的棒料，材料为 45 钢。根据加工要求，刀具及切削用量的选择见表 5-55。

表 5-55　刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/min）
1	粗铣件 1 外形和凸台	T01	ϕ10 mm 立铣刀	500	100
2	精铣件 1 外形和凸台	T01	ϕ10 mm 立铣刀	900	50
3	粗铣件 2 外形和凹槽	T01	ϕ10 mm 立铣刀	500	100
4	精铣件 2 外形和凹槽	T01	ϕ10 mm 立铣刀	900	50

3. 参考程序

由于件 1、件 2 内外轮廓形状相同，可以采用相似的程序来加工内外轮廓。两个程序有以下不同之处：进退刀位置不同，刀补偏置方向不同，刀具半径补偿值不同。

在配置 FANUC 0i 系统的加工中心上加工，件 1 的数控加工参考程序见表 5-56，件 2 的加工程序请读者自行编写。

表 5-56　件 1 数控加工参考程序

程　序	说　明
O6501；	主程序名（件 1 加工）
N010 G54 G90 G0 X0.0 Y0.0 Z100.0；	
N020 T01 M06；	调用 1 号ϕ10 mm 立铣刀
N030 M03 S500；	
N040 G43 G00 Z100.0 H01；	建立 1 号刀长度补偿
N050 G00 X60.0 Y0.0；	
N060 Z-5.0 M08；	刀具快速降到 Z-5
N070 M98 P2000 D01；	调用 5mm 高十字加工子程序，采用 1 号刀补
N080 M98 P2000 D02；	调用 5mm 高十字加工子程序，采用 2 号刀补
N090 M98 P2000 D03；	调用 5mm 高十字加工子程序，采用 3 号刀补
N100 G00 Z-10.0；	刀具快速降到 Z-10
N110 M98 P3000 D02；	调用 10mm 高十字加工子程序，采用 2 号刀补
N120 M98 P3000 D03；	调用 10mm 高十字加工子程序，采用 3 号刀补
N130 G00 Z-20.0；	刀具快速降到 Z-20
N140 M98 P1000 D02；	调用外形四边形加工子程序，采用 2 号刀补
N150 M98 P1000 D03；	调用外形四边形加工子程序，采用 3 号刀补
N160 G49 G00 Z150.0；	取消 1 号刀长度补偿
N170 M09；	
N180 M05；	
N190 M30；	程序结束
O1000；	子程序名（外形四边形加工）
N010 G41 G00 Y10.0；	建立刀具半径左补偿
N020 G03 X40.0 Y0.0 R20.0；	
N030 G01 Y-20.0；	
N040 G02 X20.0 Y-40.0 R20.0；	
N050 G01 X-20.0；	
N060 G02 X-40.0 Y-20.0 R20.0；	
N070 G01 Y20.0；	

（续）

程　　序	说　　明
N080 G02 X−20.0 Y40.0 R20.0；	
N090 G01 X20.0；	
N100 G02 X40.0 Y20.0 R20.0；	
N110 G01 Y0.0；	
N120 G03 X60.0 Y−20.0 R20.0；	
N130 G00 G40 Y0.0；	取消刀具半径补偿
N140 M99；	子程序结束
O2000；	子程序名（5mm 高十字加工）
N010 G41 G00 Y20.0；	建立刀具半径左补偿
N020 G03 X40.0 Y0.0 R20.0 F100；	
N030 G01 Y−6.0；	
N040 X6.0；	
N050 Y−40.0；	
N060 X−6.0；	
N070 Y−6.0；	
N080 X−40.0；	
N090 Y6.0；	
N100 X−6.0；	
N110 Y40.0；	
N120 X6.0；	
N130 Y6.0；	
N140 X40.0；	
N150 Y0.0；	
N160 G03 X60.0 Y0.0 R20.0；	
N170 G40 G00 Y0.0；	取消刀具半径补偿
N180 M99；	子程序结束
O3000；	子程序名（10mm 高十字加工）
N010 G41 G00 Y20.0；	建立刀具半径左补偿
N020 G03 X40.0 Y0.0 R20.0 F100；	
N030 G01 Y−12.0；	
N040 X22.0；	
N050 G03 X12.0 Y−22.0 R10.0；	
N060 G01 Y−40.0；	
N070 X−12.0；	
N080 Y−22.0；	
N090 G03 X−22.0 Y−12.0 R10.0；	
N100 G01 X−40.0；	
N110 Y12.0；	
N120 X−22.0；	
N130 G03 X−12.0 Y22.0 R10.0；	
N140 G01 Y40.0；	
N150 X12.0；	
N160 Y−22.0；	

（续）

程　　序	说　　明
N170 G03 X22.0 Y12.0 R10.0；	
N180 G01 X40.0；	
N190 Y0.0；	
N200 G03 X60.0 Y-20.0 R20.0；	
N210 G40 G00 Y0.0；	取消刀具半径补偿
N220 M99；	子程序结束

5.8.2　实例 66——配合类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

图 5-24 所示两配合件的加工，包含了平面、圆弧、内外轮廓、挖槽、孔加工以及三维曲面的加工，且大部分的尺寸均达到公差等级 IT7～IT8，尺寸、几何公差及凹凸配合等要求较高。件 1、件 2 都选用机用虎钳装夹，件 1、件 2 工件坐标系原点都位于工件上表面的几何中心位置。首先加工件 1，然后加工件 2。件 2 加工后必须在拆卸之前与件 1 进行试配合，若间隙偏小，可改变刀具半径补偿，将轮廓再次进行加工，直至配合情况良好后才取下件 2。

件 1 的加工工序为：铣削平面→钻两工艺孔→粗加工两个凹型腔→精加工两个凹型腔→点孔加工→钻孔加工→铰孔加工。

件 2 的加工工序为：铣削平面→粗加工两外轮廓→铣削边角料→钻中间位置孔→扩中间位置孔→精加工两外轮廓→加工键形凸台表面→粗镗 ϕ37.5mm 孔→精镗 ϕ38mm 孔→点孔加工→钻孔加工→铰孔加工→铣孔口 R5mm 圆角。

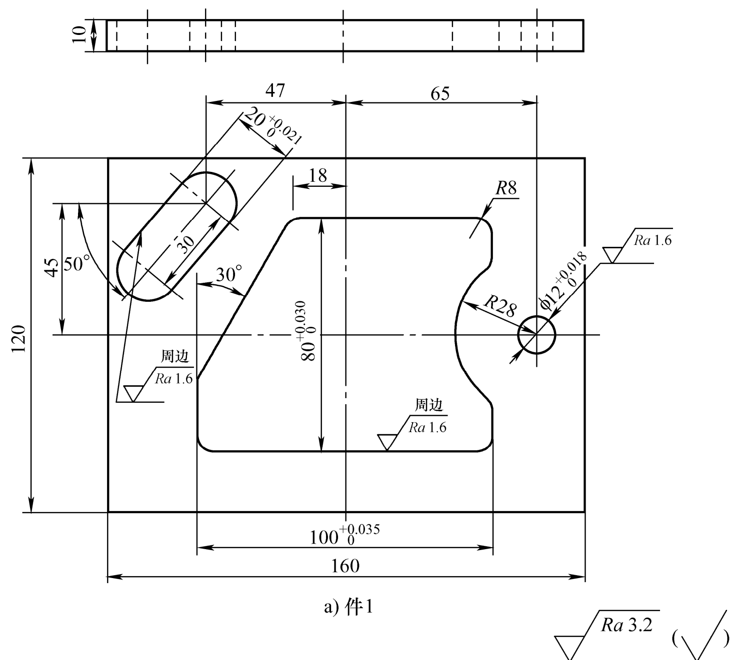
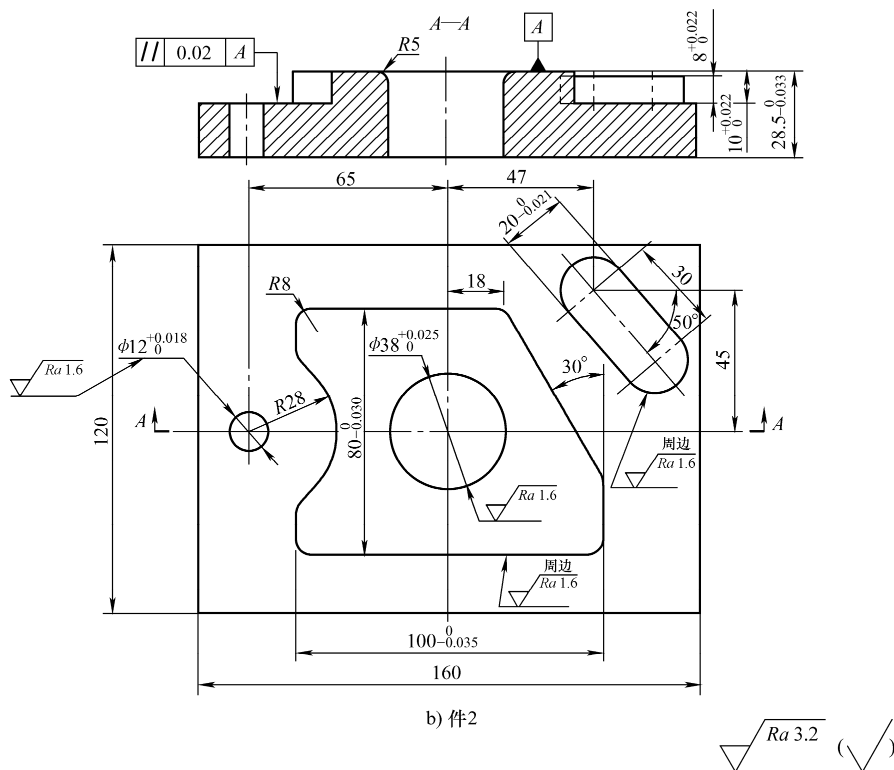


图 5-24　实例 66 零件图



b) 件2

图 5-24 实例 66 零件图（续）

2. 刀具与切削用量选择

件 1、件 2 铣削平面选用ϕ80mm 硬质合金可转位面铣刀；粗加工件 1 两个凹型腔和铣件 2 孔口 R5mm 圆角选用ϕ14mm 高速钢三刃立铣刀；粗加工件 2 两外轮廓和铣削边角料选用ϕ16mm 高速钢三刃立铣刀；精加工件 1 两个凹型腔、精加工件 2 两外轮廓及键形凸台表面选用ϕ12mm 高速钢四刃立铣刀；件 1、件 2 上ϕ12mm 孔采用钻→扩→铰方案，选用ϕ3mm 高速钢中心钻、ϕ11.8mm 高速钢麻花钻和ϕ12mm 高速钢机用铰刀各一把；件 2 上ϕ38mm 孔采用钻→扩→粗镗→精镗方案，选用ϕ11.8mm 高速钢麻花钻、ϕ35mm 高速钢麻花钻、ϕ37.5mm 硬质合金粗镗刀和ϕ38mm 硬质合金精镗刀进行加工。

零件加工材料为 45 钢，件 1、件 2 的毛坯尺寸分别为 160mm×120mm×12mm 和 160mm×120m×30mm。根据加工要求，件 1、件 2 切削用量的选择见表 5-57、表 5-58。

表 5-57 件 1 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/min）
1	粗铣件 1 上表面	T01	ϕ80 mm 面铣刀	450	300
2	精铣件 1 上表面	T01		800	160
3	钻件 1 两工艺孔（凹型腔）	T02	ϕ11.8 mm 麻花钻	550	80
4	粗铣件 1 两个凹型腔	T03	ϕ14 mm 立铣刀	500	80
5	精铣件 1 两个凹型腔	T04	ϕ12 mm 立铣刀	800	100
6	件 1 点孔加工	T05	ϕ3 mm 中心钻	1200	120
7	件 1 钻孔加工	T02	ϕ11.8 mm 麻花钻	550	80
8	件 1 铰孔加工	T06	ϕ12 mm 铰刀	300	50

表 5-58　件 2 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/min）
1	粗铣件 2 上表面	T01	ϕ80 mm 面铣刀	450	300
2	精铣件 2 上表面	T01		800	160
3	粗铣件 2 两个外轮廓面	T07	ϕ16 mm 立铣刀	500	120
4	铣件 2 边角料	T07		500	120
5	钻件 2 中间位置孔	T02	ϕ11.8 mm 麻花钻	550	80
6	扩件 2 中间位置孔	T08	ϕ35 mm 麻花钻	150	20
7	精件 2 两个外轮廓面	T04	ϕ12 mm 立铣刀	800	100
8	加工件 2 键形凸台表面	T04		800	100
9	粗镗件 2ϕ37.5mm 孔	T09	ϕ37.5 mm 粗镗刀	850	80
10	精镗件 2ϕ38mm 孔	T10	ϕ38 mm 精镗刀	1000	40
11	件 2 点孔加工	T05	ϕ3 mm 中心钻	1200	120
12	件 2 钻孔加工	T02	ϕ11.8 mm 麻花钻	550	80
13	件 2 铰孔加工	T06	ϕ12 mm 铰刀	300	50
14	铣孔口 *R*5 圆角	T03	ϕ14 mm 立铣刀	800	1000

3. 参考程序

在配置 FANUC 0i 系统的加工中心上加工，数控加工参考程序见表 5-59、表 5-60。

表 5-59　件 1 数控加工参考程序

程　序	说　明
O 6601；	主程序名（件 1 加工）
N010 G54 G90 G17 G21 G94 G49 G40；	
N020 T01 M06；	调用 1 号ϕ80mm 面铣刀
N030 M03 S450 M07；	
N040 G43 G00 Z150.0 H01；	
N050 G00 X125.0 Y-30.0；	
N060 Z0.3；	*Z* 轴进刀，留 0.3mm 铣削深度余量
N070 G01 X-125.0 F300；	平面铣削
N080 G00 Y30.0；	
N090 G01 X125.0；	平面铣削
N100 G00 Z150.0；	
N110 M05 M09；	主轴停止
N120 M00；	程序暂停，测量厚度，确定精加工余量
N130 M03 S800；	
N140 G00 X125.0 Y-30.0 M07；	
N150 Z0.0；	
N160 G01 X-125.0 F160；	平面铣削
N170 G00 Y30.0；	
N180 G01 X125.0；	
N190 G00 Z150.0；	切削液关闭

（续）

程　　序	说　　明
N200 M05 M09；	
N210 T02 M06；	调用 2 号ϕ11.8mm 麻花钻
N220 M03 S550 F80；	
N230 G00 G43 Z150.0 H02；	调用 2 号刀长度补偿
N240 X0.0 Y0.0 M07；	
N250 G83 G99 X0.0 Y25.0 Z-16.0 Q5.0 R2.0；	钻工艺孔
N260 X-55.0 Y35.0；	
N270 G00 Z150.0；	
N280 M05 M09；	
N290 T03 M06；	调用 3 号ϕ14mm 立铣刀
N300 M03 S500；	
N310 G00 G43 Z150.0 H03；	调用 3 号刀长度补偿
N320 X0.0 Y25.0 M07；	
N330 Z1.0；	
N340 G01 Z-10.5 F40；	
N350 G41 G01 X-13.381 Y40.0 D01 F80；	引入刀具 1 号半径补偿值
N360 M98 P1；	调用子程序加工中间型腔
N370 G00 Z5.0；	
N380 X-55.0 Y35.0；	
N390 Z1.0；	
N400 G01 Z-10.5 F40；	
N410 G41 X-73.944 Y28.447 D01 F80；	引入刀具 1 号半径补偿值
N420 M98 P2；	调用子程序加工键槽形型腔
N430 G00 Z150.0；	
N440 M05 M09；	
N450 T04 M06；	调用 4 号ϕ12mm 立铣刀
N460 M03 S800 F100；	
N470 G00 G43 Z150.0 H04；	调用 4 号刀长度补偿
N480 X0.0 Y25.0 M07；	
N490 Z-10.5；	
N5000 G41 G01 X-13.381 Y40.0 D02；	引入刀具 2 号半径补偿值
N510 M98 P1；	调用子程序加工中间型腔
N520 G00 Z5.0；	
N530 X-55.0 Y35.0；	
N540 Z-10.5；	
N550 G01 G41 X-73.944 Y28.447 D02；	引入刀具 2 号半径补偿值
N560 M98 P2；	调用子程序加工键槽形型腔
N570 G00 Z150.0；	
N5800 M05 M09；	
N590 T05 M06；	调用ϕ3mm 中心钻
N600 M03　S1200；	

（续）

程　　序	说　　明
N610 G00 G43 Z150.0 H05；	
N620 X0.0 Y0.0；	
N630 G81 G99 X65.0 Y0.0 Z−2.0 R2.0 F120；	钻中心孔
N640 G80 G49 G00 Z150.0；	
N650 M05；	
N660 T02 M06；	调用 2 号 ϕ11.8mm 麻花钻
N670 M03 S550；	
N680 G00 G43 Z100.0 H02；	
N690 X0.0 Y0.0 M07；	
N700 G83 G99 X65.0 Y0.0 Z−15.0 Q5.0 R2.0 F80；	钻孔
N710 G80 G49 G00 Z150.0；	
N720 M05 M09；	
N730 T06 M06；	调用 6 号 ϕ12mm 铰刀
N740 M03 S300；	
N750 G00 G43 Z100.0 H06 M07；	
N760 X0.0 Y0.0；	
N770 G85 G99 X65.0 Y0.0 Z−15.0 R2.0 F50；	铰孔加工
N780 G80 G49 G00 G49 Z150.0；	
N790 M05 M09；	
N800 M30；	程序结束
O 0001；	子程序名（中间型腔）
N010 G03 X−20.309 Y36.0 R8.0；	圆弧铣削加工
N020 G01 X−48.928 Y−13.569；	
N030 G03 X−50.0 Y−17.569 R8.0；	
N040 G01 Y−32.0；	
N050 G03 −42.0 Y−40.0 R8.0；	
N060 G01 X42.0；	
N070 G03 X50.0 Y−32.0 R8.0；	
N080 G01 Y23.664；	
N090 G03 X47.576 Y−17.928 R8.0；	
N100 G02 Y17.928 R28.0；	
N110 G03 X50.0 Y23.664 R8.0；	
N120 G01 Y32.0；	
N130 G03 X42.0 Y50.0 R8.0；	
N140 G01 X−13.381；	
N150 G40 X0.0 Y25.0；	退刀，取消刀具半径补偿
N160 M99；	子程序结束
O 0002；	子程序名（键槽形型腔）
N010 G03 X−58.623 Y15.519 R−10.0；	圆弧铣削加工
N020 G01 X−39.34 Y38.572；	
N030 G03 X−54.66 Y51.428 R−10.0；	
N040 G01 X−73.944 Y28.447；	
N050 G40 X−55.0 Y35.0；	
N060 M99；	子程序结束

表 5-60 件 2 数控加工参考程序

程　　序	说　　明
O 6602；	主程序名（件 2 加工）
N010 G55 G90 G17 G21 G94 G49 G40；	设置初始状态
N020 T01 M06；	调用 1 号 ϕ80mm 面铣刀
N030 M03 S450；	
N040 G43 G00 Z150.0 H01；	建立 1 号刀长度补偿
N050 G00 X125.0 Y-30.0；	刀具快速移至下刀点
N060 Z0.3；	*Z* 轴进刀，留 0.3mm 铣削深度余量
N070 G01 X-125.0 F300；	平面铣削
N080 G00 Y30.0；	
N090 G01 X125.0；	平面铣削
N100 G49 G00 Z150.0；	
N110 M05；	主轴停止
N120 M00；	程序暂停，测量厚度，确定精加工余量
N130 M03 S800；	
N140 G00 X125.0 Y-30.0 M07；	
N150 Z0.0；	
N160 G01 X-125.0 F160；	平面铣削
N170 G00 Y30.0；	
N180 G01 X125.0；	
N190 G00 Z150.0；	切削液关闭
N200 M05 M09；	
N210 T07 M06；	调用 7 号 ϕ16mm 立铣刀
N220 M03 S500 F120；	
N230 G00 G43 Z150.0 H07；	调用 7 号刀长度补偿
N240 X92.0 Y0.0 M07；	
N250 Z-10.0；	
N260 G41 G01 X50.0 Y-14.0 D03；	引入刀具 3 号半径补偿值
N270 M98 P3；	调用子程序
N280 G41 G01 X58.623 Y15.591 D03；	
N290 M98 P4；	调用子程序
N300 G01 X73.0；	
N310 Y-60.0；	
N320 X65.0 Y-46.0；	
N330 Y-53.0；	
N340 X-81.0；	
N350 X-65.0 Y-46.0；	
N360 X-73.0；	
N370 Y0.0；	
N380 X-63.0 Y-10.0；	
N390 Y10.0；	
N400 X-73.0 Y6.0；	

（续）

程　　序	说　　明
N410 Y60.0；	
N420 X-65.0 Y46.0；	
N430 Y53.0；	
N440 X25.0；	
N450 Y70.0；	
N460 G00 X75.0；	
N470 G01 Y50.0；	
N480 G00 Z150.0；	切削液关闭
N490 M05 M09；	
N500 M06 T02；	调用 2 号 ϕ11.8mm 麻花钻
N510 M03 S550 F80；	
N520 G00 G43 Z150.0 H02；	调用 2 号刀长度补偿
N530 X0.0 Y0.0 M07；	
N540 G83 G99 X0.0 Y0.0 Z-35.0 Q5.0 R2.0；	钻中心位置孔
N550 G80 G49 G00 Z150.0；	取消固定循环，切削液关闭
N560 M05 M09；	
N570 T08 M06；	调用 8 号 ϕ35mm 麻花钻
N580 M03 S150 F20；	
N590 G00 G43 Z150.0 H08；	调用 8 号刀长度补偿
N600 X0.0 Y0.0 M07；	
N610 G83 G99 X0.0 Y0.0 Z-40.0 Q-5.0 R2.0；	扩中心位置孔
N620 G80 G49 G00 Z150.0；	取消固定循环，切削液关闭
N630 M05 M09；	
N640 T04 M06；	调用 4 号 ϕ12mm 立铣刀
N650 M03 S800 F100；	
N660 G00 G43 Z150.0 H04；	调用 4 号刀长度补偿
N670 X92.0 Y0.0 M07；	
N680 Z-10.0；	
N690 G41 G01 X50.0 Y-14.0.0 D04；	引入刀具 4 号半径补偿值
N700 M98 P3；	调用子程序加工中间凸台
N710 G01 G41 X58.623 Y15.591 D04；	引入刀具 4 号半径补偿值
N720 M98 P4；	调用子程序加工键形凸台
N730 G00 Z5.0；	
N740 X32.0 Y55.098；	
N750 Z-2.0；	
N760 G01 X68.881 Y11.144；	
N770 X76.542 Y17.572；	
N780 X40.941 Y50.0；	
N790 G00 Z150.0；	
N800 M05 M09；	
N810 T09 M06；	调用 9 号 ϕ37.5mm 粗镗刀

（续）

程　　序	说　　明
N820 M03 S850；	
N830 G00 G43 Z100.0 H09 M07；	调用 9 号刀长度补偿
N840 X0.0 Y0.0；	
N850 G85 G99 X0.0 Y0.0 Z-30.0 R2.0 F80；	粗镗中间位置孔
N860 G80 G49 G00 Z100.0 M09；	
N870 M05；	
N880 T10 M06；	调用 10 号 ϕ38mm 精镗刀
N890 M03 S1000；	
N900 G00 G43 Z100.0 H10 M07；	调用 10 号刀长度补偿
N910 X0.0 Y0.0；	
N920 G85 G99 X0.0 Y0.0 Z-30.0 R2.0 F40；	精镗中间位置孔
N930 G80 G49 G00 Z100.0；	
N940 M05 M09；	
N950 T05 M06；	调用 5 号 ϕ3mm 中心钻
N960 M03 S1200；	
N970 G00 G43 Z150.0 H05；	
N980 X0.0 Y0.0；	
N990 G81 G99 X-65.0 Y0.0 Z-2.0 R2.0 F120；	钻中心孔
N1000 G80 G49 G00 Z150.0；	
N1010 M05；	
N1020 T02 M06；	调用 2 号 ϕ11.8mm 麻花钻
N1030 M03 S550；	
N1040 G00 G43 Z100.0 H02；	
N1050 X0.0 Y0.0 M07；	
N1060 G83 G99 X-65.0 Y0.0 Z-35.0 Q5.0 R2.0 F80；	固定循环指令钻孔加工
N1070 G80 G49 G00 Z150.0；	
N1080 M05 M09；	
N1090 T06 M06；	调用 6 号 ϕ12mm 机用铰刀
N1100 M03 S300；	
N1110 G00 G43 Z100.0 H06 M07；	
N1120 X0.0 Y0.0；	
N1130 G85 G99 X-65.0 Y0.0 Z-35.0 R2.0 F50；	铰孔加工
N1140 G80 G49 G00 Z150.0；	
N1150 M05 M09；	
N1160 T03 M06；	调用 3 号 ϕ14mm 三刃立铣刀
N1170 M03 S800；	
N1180 G00 G43 Z100.0 H03；	调用 3 号刀长度补偿
N1190 X0.0 Y0.0 M07；	
N1200 Z0.0；	
N1210 G01 X17 F60；	
N1220 #1=0.0；	定义 Z 轴起始深度

（续）

程　　序	说　　明
N1230 #2=-7.0；	定义 Z 轴最终深度
N1240 #3=7.0+#1；	Z 方向数值计算
N1250 #4=SQRT[7.0*7.0-#3*#3]；	X 方向数值计算
N1260 #5=17.0-#4；	X 方向数值计算
N1270 G01 X[#5] Y0.0 Z[#1] F1000；	进给至圆弧面的 X、Y、Z 轴起点位置
N1280 G02 I[-#5] J0.0；	整圆铣削加工
N1290 #1=#1-0.02；	圆弧深度的每次增加量
N1300 IF[#1GE#2] GOTO 1240；	当深度未到时，转移到 N1240 程序段
N1310 G49 G00 Z150.0；	
N1320 M05 M09；	
N1330 M30；	程序结束
O 0003；	子程序名（中间凸台）
N010 G01 Y-32.0；	
N020 G02 X42.0 Y-40.0 R8.0；	圆弧铣削加工
N030 G01 X-42.0；	
N040 G02 X-50.0 Y-32.0 R8.0；	
N050 G01 Y-23.664；	
N060 G02 X-47.576 Y-17.928 R8.0；	
N070 G03 Y17.928 R28.0；	圆弧铣削加工
N080 G02 X-50.0 Y23.664 R8.0；	
N090 G01 Y32.0；	
N100 G02 X-42.0 Y40.0 R8.0；	
N110 G01 X13.381；	
N120 G02 X20.309 Y36.0 R8.0；	圆弧铣削加工
N130 G01 X48.928 Y-13.569；	
N140 G02 X50.0 Y-17.569 R8.0；	
N150 G40 G01 X60.0 Y0.0；	退刀，取消刀具半径补偿
N160 M99；	子程序结束
O 0004；	子程序名（键形凸台）
N010 G01 X39.34 Y38.572；	
N020 G02 X54.66 Y51.428 R-10.0；	圆弧铣削加工
N030 G01 X73.944 Y28.447；	
N040 G02 X58.623 Y15.519 R-10.0；	
N050 G40 G01 X55.0 Y0.0；	退刀，取消刀具半径补偿
N060 M99；	子程序结束

第 6 章

SIEMENS 数控铣床（加工中心）编程实例

6.1 平面图形类零件编程加工（1 例）

实例 67—— 平面图形类零件编程加工

1. 零件工艺分析

图 6-1 所示零件加工图形深度为 2mm，一次垂直下刀即可达到加工要求，对于不连续图形，应注意设置抬刀工艺。零件采用机用虎钳装夹，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。工件坐标系建立在工件的对称中心上，*Z* 轴零点在工件上表面，用 G54 调用。

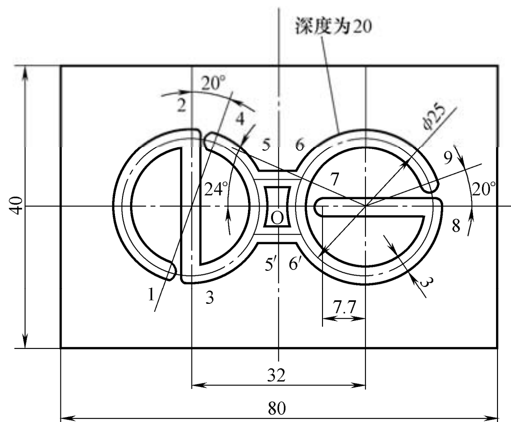


图 6-1 实例 67 零件图

根据零件图形及尺寸，通过 CAD 作图法，可以求出各个基点的坐标值，各基点的坐标位置如图 6-1 所示，基点的坐标值见表 6-1。

表 6-1 基点的坐标值 （单位：mm）

基 点	坐标（*X*，*Y*）	基 点	坐标（*X*，*Y*）
1	（−20.275，−11.746）	5′	（−4.581，−5.084）
2	（−16，12.5）	6′	（4.581，−5.084）
3	（−16，−12.5）	7	（8.3，0）
4	（−11.725，11.746）	8	（28.5，0）
5	（−4.581，5.084）	9	（27.746，4.275）
6	（4.581，5.084）	—	—

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求,选用直径与图形宽度相同的铣刀，为ϕ3mm，加工中需要垂直下刀，故选用键槽铣刀为宜。

零件加工材料为硬铝，硬度较低，切削力较小，切削速度可较高；但刀具直径小，进给量应选择小些；图形深 2mm，一次下刀至尺寸，垂直下刀进给量应小些。切削用量的选择参见表 6-2。

表 6-2　刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	铣削平面图形	T1	ϕ3mm 键槽铣刀	1200	70

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，数控加工参考程序见表 6-3。

表 6-3　数控加工参考程序

程序	说明
SK6701.MPF	主程序名
N10 G17 G90 G54 S1200 M03 M08	
N20 T1 M06	调用 1 号ϕ3mm 键槽铣刀
N30 G00 X-20.275 Y-11.746 Z5	刀具快速运动到 1 点上方
N40 G01 Z-2 F50	
N50 G02 X-16 Y12.5 CR=12.5 F70	圆弧加工至 2 点
N60 G01 Y-12.5	直线加工至 3 点
N70 G03 X-11.725 Y11.746 CR=12.5	圆弧加工至 4 点
N80 G00 Z5	
N90 X8.3 Y0	刀具快速运动到 7 点上方
N100 G01 Z-2 F50	
N110 X28.5 F70	直线加工至 8 点
N120 G02 X27.746 Y4.275 CR=-12.5	圆弧加工至 9 点
N130 G00 Z5	
N140 X-4.581 Y5.084	刀具快速运动到 5 点上方
N150 G01 Z-2 F50	
N160 X4.581 F70	直线加工至 6 点
N170 G00 Z5	
N180 X-4.581 Y-5.084	刀具快速运动到 5′点上方
N190 G01 Z-2 F50	
N200 X4.581 F70	直线加工至 6′点
N210 G00 Z100	
N220 M05 M09	
N230 M30	程序结束

6.2　轮廓类零件编程加工（3 例）

6.2.1　实例 68——轮廓类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 6-2 所示零件需要铣削外轮廓近似椭圆台及人字形平面图形，根据零件图形及尺寸，通过 CAD 作图法，可以求出各个基点的坐标值，各基点的坐标位置如图 6-3 所示，基点的坐标值见表 6-4。

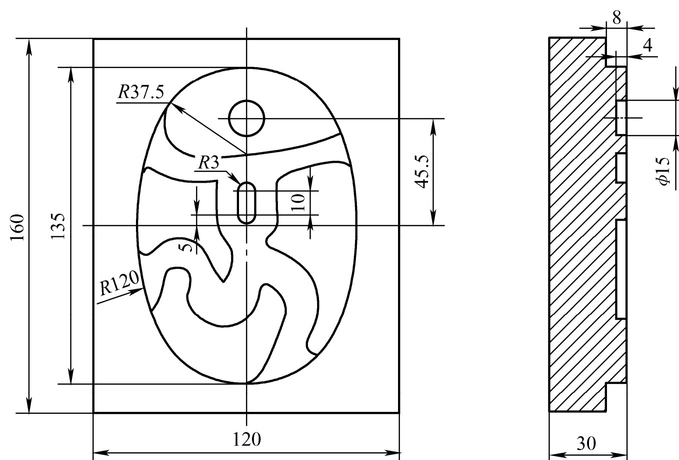


图 6-2　实例 68 零件图

零件采用机用虎钳装夹，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。工件坐标系建立在工件的对称中心上，Z 轴零点在工件上表面，用 G54 调用。

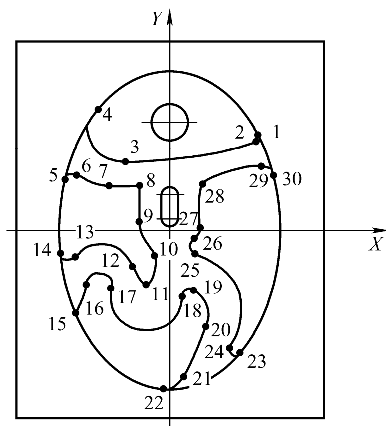


图 6-3　各基点的坐标位置

表 6-4　基点的坐标值　（单位：mm）

基　　点	坐标（*X*，*Y*）	参　　数	基　　点	坐标（*X*，*Y*）	参　　数
1	（35.8，41.3）	*R*=3	16	（16，−32.5）	*R*=5.1
2	（33.9，37.4）	*R*=164	17	（17，−22.4）	*R*=14
3	（−17.6，29）	*R*=15	18	（4.9，−27.9）	*R*=3
4	（−29.3，53.4）	—	19	（9.4，−25.5）	*R*=13
5	（−41.2，21.8）	*R*=3	20	（14.2，−41.8）	*R*=188
6	（−36.4，23.6）	—	21	（5.4，−63）	*R*=8
7	（−23.8，19.1）	*R*=22	22	（−2.3，−64.7）	—
8	（−11.7，19.1）	—	23	（29.5，−52.3）	*R*=3
9	（−11.7，3.7）	*R*=24	24	（24.3，−50.3）	*R*=25.4
10	（−6.4，−9）	*R*=16.5	25	（10，−10）	*R*=3.9
11	（−8.9，−24）	*R*=16.5	26	（9.8，−3.1）	*R*=4.5
12	（−14.5，−15）	*R*=12.5	27	（12，2）	*R*=41
13	（−37.5，−11.5）	*R*=3	28	（12.6，19.5）	*R*=48
14	（−42.7，−9.9）	—	29	（35.7，27）	*R*=5
15	（−34.7，−36.7）	*R*=36	30	（40.9，23）	—

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求选用ϕ22mm 立铣刀加工椭圆台，选用ϕ8mm 立铣刀加工人字形图形。

零件毛坯尺寸为 120mm×160mm×30mm，加工材料为硬铝，硬度较低，切削力较小，切削速度可较快，但垂直下刀进给量应小。切削用量的选择参见表 6-5。

表 6-5　刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/(mm/min）
1	铣削椭圆台	T1	ϕ22 mm 立铣刀	800	300
2	铣削人字形图形	T2	ϕ8 mm 立铣刀	1200	150

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，数控加工参考程序见表 6-6、表 6-7。

表 6-6　数控加工参考程序（椭圆台）

程　　序	说　　明
SK6801.MPF	主程序名（椭圆台）
N10 G17 G90 G54	
N20 T1 D1 M06	调用 1 号ϕ22mm 立铣刀
N30 G00 X0 Y0 Z50	
N40 M03 M08 S800	
N50 X80 Y0	
N60 Z2	
N70 G01 Z-8 F80	
N90 G41 X63.1 Y20 F300	
N100 G03 X43.1 Y0 CR=20	近似法铣削椭圆台
N110 G02 X34.9 Y-43.6 CR=120	
N120 G02 X-34.9 Y-43.6 CR=37.5	
N130 G02 X-34.9 Y43.6 CR=120	
N140 G02 X34.9 Y43.6 CR=37.5	
N150 G02 X43.1 Y0 CR=120	
N160 G03 X63.1 Y-20 CR=20	
N170 G40 X80 Y0	
N180 G74 Z1=0	
N190 M05 M09	
N200 M30	程序结束

表 6-7 数控加工参考程序（人字形图形）

程 序	说 明
SK6802.MPF	主程序名（人字形图形）
N10 G90 G54	
N20 T2 D1 M06	调用 2 号 ϕ8mm 立铣刀
N30 G00 X0 Y0 Z50	
N40 M03 M08 S1200	
N50 X0 Y45.5	
N60 Z2	
N70 G01 Z−4 F60	
N80 G01 G41 X2.5 Y40.5 F150	
N90 G03 X7.5 Y45.5 CR=5	
N100 G03 I−7.5 J0	铣削圆形槽
N110 G03 X2.5 Y50.5 CR=5	
N120 G01 G40 X0 Y45.5	
N130 G00 Z5	
N140 X40.8 Y41.3	
N150 G01 Z−4 F60	
N160 G41 G01 X40.8 Y46.3 F150	
N170 G03 X35.8 Y41.3 CR=5	圆弧切入至基点 1
N180 G02 X33.9 Y37.4 CR=3	圆弧切入至基点 2
N190 G02 X−17.6 Y29 CR−164	圆弧切入至基点 3
N200 X−29.3 Y53.4 CR=15	圆弧切入至基点 4
N210 X−34.3 Y58.4 CR=5	
N220 G40 G01 X34.3 Y54.3	
N230 G00 Z5	
N240 X−46.2 Y21.8	
N250 G01 Z−4 F60	
N260 G01 G41 X46.2 Y16.8 F150	
N270 G03 X41.2 Y21.8 CR=5	圆弧切入至基点 5
N280 G02 X−36.4 Y23.6 CR=3	圆弧切入至基点 6
N290 G03 X−23.8 Y19.1 CR=22	圆弧切入至基点 7
N300 G01 X−11.7	圆弧切入至基点 8
N310 Y3.7	圆弧切入至基点 9
N320 G03 X−6.4 Y−9 CR=24	圆弧切入至基点 10
N330 G02 X−8.9 Y24 CR=16.5	圆弧切入至基点 11
N340 G02 X−14.5 Y−15 CR=16.5	圆弧切入至基点 12
N350 G03 X−11.5 Y−37.5 CR=12.5	圆弧切入至基点 13
N360 G02 X−42.7 Y−9.9 CR=3	圆弧切入至基点 14
N370 G03 X−47.7 Y−4.9 CR=5	
N380 G40 G01 Y−9.9	
N390 G00 Z5	
N400 X−42.4 Y-36.7	

（续）

程　　序	说　　明
N410 G01 Z-4 F60	
N420 G01 G41 X-42.4 Y-41.7 F150	
N430 G03 X-34.7 Y-36.7 CR=5	圆弧切入至基点 15
N440 G03 X-32.5 Y-22.8 CR=36	圆弧切入至基点 16
N450 G02 X-22.4 Y-24.7 CR=5.1	圆弧切入至基点 17
N460 G03 X4.9 Y-29.7 CR=14	圆弧切入至基点 18
N470 G02 X9.6 Y-25.5 CR=3	圆弧切入至基点 19
N480 G02 X14.2 Y-41.8 CR=13	圆弧切入至基点 20
N490 G02 X5.4 Y-63 CR=188	圆弧切入至基点 21
N500 G02 X-2.3 Y-67.4 CR=8	圆弧切入至基点 22
N505 G03 X-7.3 Y-74.4 CR=5	
N510 G01 G40 X-2.3	
N520 G00 Z5	
N530 X29.5 Y-58.2	
N540 G01 Z-4 F60	
N550 G01 G41 X34.5 Y-58.2 F150	
N560 G03 X29.5 Y-53.2 CR=5	圆弧切入至基点 23
N570 G02 X24.3 Y-50.3 CR=3	圆弧切入至基点 24
N580 G03 X10 Y-10 CR=25.4	圆弧切入至基点 25
N590 G02 X9.8 Y-3.1 CR=3.9	圆弧切入至基点 26
N600 G03 X12 Y2 CR=4.5	圆弧切入至基点 27
N610 G02 X12.6 Y19.5 CR=41	圆弧切入至基点 28
N620 G02 X35.7 Y27 CR=48	圆弧切入至基点 29
N630 G02 X40.9 Y23 CR=5	圆弧切入至基点 30
N640 G03 X45.9 Y18 CR=5	
N650 G40 G01 Y23	
N660 G00 Z5	
N670 X0 Y24	
N680 G01 Z-4 F60	
N690 Y22 F150	
N700 G02 X7 Y15 CR=7	
N710 G01 Y5	
N720 G02 X-7 I-7 J0	加工中间岛屿
N730 G01 Y15	
N740 G02 X0 Y22 CR=7	
N750 G01 Y24	
N760 G74 Z1=0	
N770 M05 M09	
N780 M30	程序结束

6.2.2 实例 69——轮廓类零件编程加工（二）

1．零件工艺分析

图 6-4 零件为平面外轮廓铣削，一般采用立铣刀侧面刃进行切削。为了减少刀痕，切入、切出时可沿零件外轮廓曲线延长线的切线方向切入、切出工件。零件采用机用虎钳装夹方式，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。工件坐标系建立在工件的对称中心上，*Z* 轴零点在工件上表面，用 G54 调用。

根据零件图形及尺寸，通过 CAD 作图法，可以求出各个基点的坐标值，各基点的坐标位置如图 6-5 所示，基点的坐标值见表 6-8。

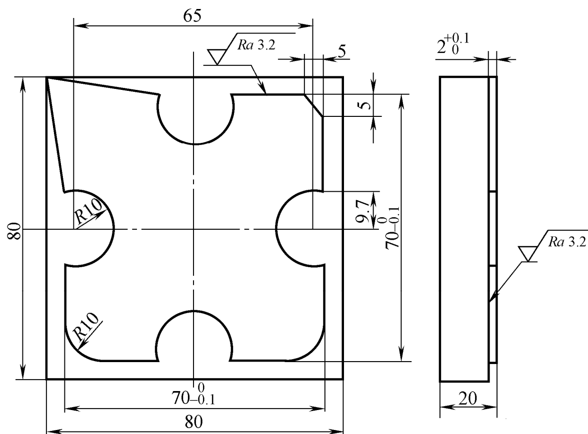


图 6-4 实例 69 零件图

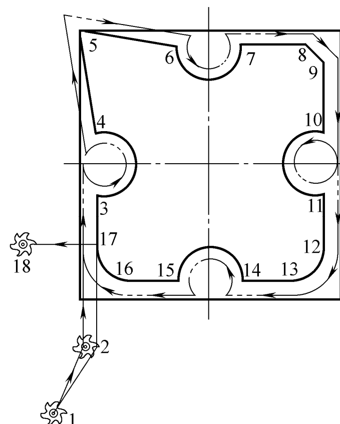


图 6-5 各基点的坐标位置

表 6-8 基点的坐标值 （单位：mm）

基 点	坐标（*X*，*Y*）	基 点	坐标（*X*，*Y*）
1	（−45，−60）	10	（35，9.7）
2	（−35，−50）	11	（35，−9.7）
3	（−35，−9.7）	12、13 虚拟交点坐标	（35，−35）
4	（−35，9.7）	14	（10，−35）
5	（−40，40）	15	（−10，−35）
6	（−10，35）	16	（−25，−35）
7	（10，35）	17	（−35，−25）
8、9 虚拟交点坐标	（35，35）	18	（−50，−25）

2．刀具与切削用量选择

零件外轮廓上 4 个圆弧直径为 20mm，所选铣刀直径不得大于 20mm，选用ϕ16mm 铣刀，粗加工用键槽铣刀铣削，精加工用立铣刀侧面下刀铣平面。

零件加工材料为硬铝，硬度较低，切削力较小，粗铣深度除留精铣余量外，一刀铣完；切削速度可较快，但垂直下刀进给量应小。切削用量的选择见表 6-9。

表 6-9 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	粗铣外轮廓，留 0.3 mm 精加工余量	T1	ϕ16mm 键槽铣刀	800	70
2	精铣外轮廓	T2	ϕ16mm 立铣刀	1000	60

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，数控加工参考程序见表 6-10。

表 6-10 数控加工参考程序

程　　序	说　　明
SK6901.MPF	主程序名
N10 G17 G90 G54 S800 M03	
N20 T1 D1 M06	调用 1 号 ϕ16mm 键槽铣刀
N30 G00 X-45 Y-60 Z10	刀具快速运动到 1 点上方
N40 G01 Z-1.7 F70	下刀
N50 L50	调用子程序，粗加工轮廓
N60 G00 Z100	
N70 M05 M00	
N80 S1000 M03 T2 D2 M06	
N90 G00 X-45 Y-60	刀具快速运动到 1 点上方
N100 G01 Z-2 F60	下刀
N110 L50	调用子程序，精加工轮廓
N120 G00 Z100	
N130 M05 M09	
N140 M30	程序结束
L50.SPF	子程序名（外轮廓）
N10 G00 G41 X-35 Y-50	建立左刀补
N20 G01 Y-9.7	直线加工至 3 点
N30 G03 Y9.7 CR=-10	圆弧加工至 4 点
N40 G01 X-40 Y40	直线加工至 5 点
N50 X-10 Y35	直线加工至 6 点
N60 G03 X10 CR=10	圆弧加工至 7 点
N70 G01 X35 Y35 CHF=7.07	倒角加工 8、9 点
N80 Y9.7	直线加工至 10 点
N90 G03 Y-9.7 CR=-10	圆弧加工至 11 点
N100 G01 Y-35 RND=10	倒圆加工 12、13 点
N110 X10	直线加工至 14 点
N120 G03 X-10 CR=10	圆弧加工至 15 点
N130 G01 X-25	直线加工至 16 点
N140 G02 X-35 Y-25 CR=10	圆弧加工至 17 点
N150 G01 G40 X-50 Y-25	取消刀补至 18 点
N160 RET	子程序结束

6.2.3 实例 70——轮廓类零件编程加工（三）

1. 零件工艺分析

图 6-6 零件为多个相同轮廓的连续加工，可以用调用子程序的方法编程。零件采用机用虎钳装夹，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。工件坐标系建立在工件的对称中心上，Z 轴零点在工件上表面，用 G54 调用。

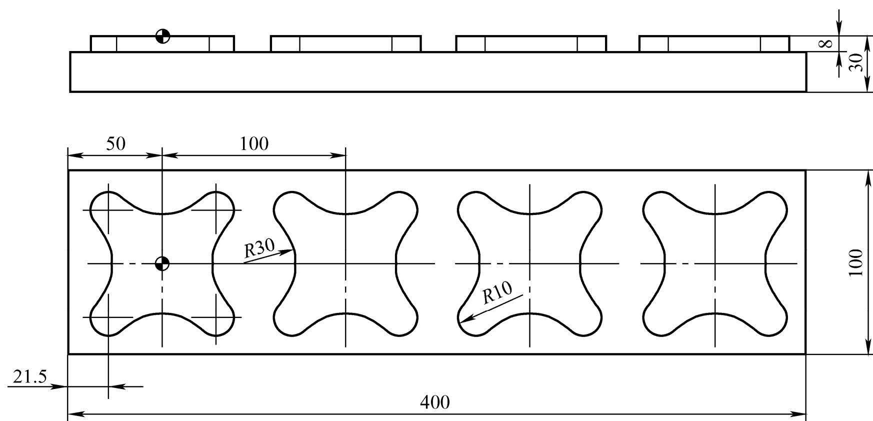


图 6-6 实例 70 零件图

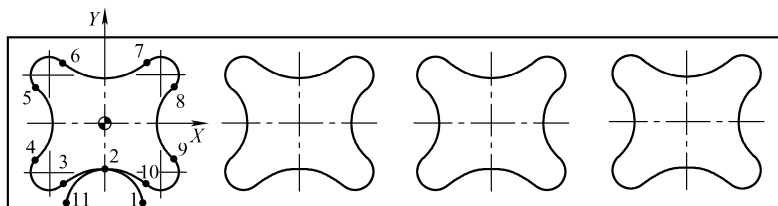


图 6-7 各基点的坐标位置

根据零件图形及尺寸，通过 CAD 作图法，可以求出各个基点的坐标值，各基点的坐标位置如图 6-7 所示，基点的坐标值见表 6-11。

表 6-11 基点的坐标值 （单位：mm）

基 点	坐标（X，Y）	基 点	坐标（X，Y）
1	（20，−46.6）	7	（24.1，35.6）
2	（0，−26.6）	8	（35.6，24.1）
3	（−24.1，−35.6）	9	（35.6，−24.1）
4	（−35.6，−24.1）	10	（24.1，−35.6）
5	（−35.6，24.1）	11	（−20，−46.6）
6	（−24.1，35.6）		

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求选用ϕ16mm 立铣刀铣削轮廓。

零件毛坯尺寸为 400mm×100mm×30mm，加工材料为硬铝，硬度较低，切削力较小，切削速度可较快，但垂直下刀进给量应小。切削用量的选择参见表 6-12。

表 6-12 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	铣削外轮廓	T1	ϕ16mm 立铣刀	800	300

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，数控加工参考程序见表 6-13。

表 6-13　数控加工参考程序

程　　序	说　　明
SK7001.MPF	主程序名
N10 T1 D1 M06	调用 1 号 ϕ16mm 立铣刀
N20 G97 G94 S800 M03	
N30 G90 G54 G00 X0 Y-60	
N40 Z50 M08	
N50 Z2	
N60 L1 P4	调用子程序，连续加工 4 个凸台
N70 G74 Z1=0	
N80 M05 M09	
N90 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（凸台）
N10 G91 G01 Z-10 F80	
N20 G41 X20 Y13.4 F300	
N30 G03 X-20 Y20 CR=20	
N40 G03 X-21.4 Y-9 CR=30	
N50 G02 X-14.2 Y14.2 I-7.1 J7.1	
N60 G03 X0 Y42.8 CR=30	
N70 G02 X14.2 Y14.2 I7.1 J7.1	
N80 G03 X42.8 Y0 CR=30	
N90 G02 X14.2 Y-14.2 I7.1 J-7.1	
N100 G03 X0 Y-42.8 CR=30	
N110 G02 X-14.2 Y-14.2 I-7.1 J-7.1	
N120 G03 X-21.4 Y9 CR=30	
N130 G03 X-20 Y-20 CR=20	
N140 G01 G40 X20 Y-13.4	
N150 G00 Z10	
N160 X100	
N170 RET	子程序结束

6.3　槽类零件编程加工（4 例）

6.3.1　实例 71——槽类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 6-8 零件中槽 1、2、3 形状和尺寸相同，可编写一个子程序，调用三次；槽 4、5 形状和尺寸相同，可另编写一个子程序，调用两次。零件采用机用虎钳装夹，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。

工件 G54 坐标原点建立在工件的对称中心处，*Z* 轴零点在工件上表面；子程序中局部坐标系为键槽几何中心，用坐标系偏移指令将工件坐标系原点偏移到局部坐标系原点上再

调用子程序加工各个槽。

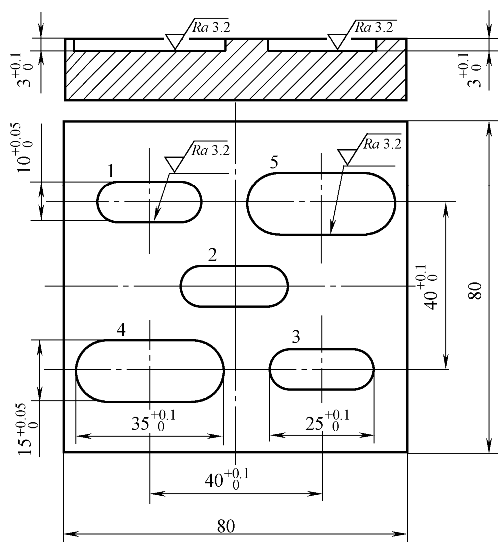


图 6-8 实例 71 零件图

键槽几何中心在工件坐标系中的坐标值，即采用坐标系偏移指令的偏移值，见表 6-14。

表 6-14 键槽几何中心点的坐标值 （单位：mm）

键　　槽	坐标（X，Y）	键　　槽	坐标（X，Y）
1	（−20，20）	4	（−20，−20）
2	（0，0）	5	（20，20）
3	（20，−20）	—	—

子程序局部坐标系中基点的位置如图 6-9 所示，在局部坐标系中的坐标值见表 6-15。

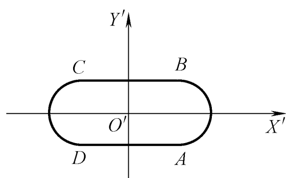


图 6-9 各基点的坐标位置

表 6-15 子程序中各点在局部坐标系中的坐标值 （单位：mm）

键槽 1、2、3	坐标（X，Y）	键槽 4、5	坐标（X，Y）
A	（7.5，−5）	*A*	（10，−7.5）
B	（7.5，5）	*B*	（10，7.5）
C	（−7.5，5）	*C*	（−10，7.5）
D	（−7.5，−5）	*D*	（−10，−7.5）

2. 刀具与切削用量选择

零件上最小圆弧轮廓半径为 5 mm，所选铣刀直径不得大于 10 mm，选用ϕ8 mm 铣刀，粗加工用键槽铣刀铣削，精加工用立铣刀。

零件加工材料为硬铝，硬度较低，切削力较小，粗铣深度除留精铣余量外，一刀铣完；切削速度可较快，但垂直下刀进给量应小，切削用量的选择参见表 6-16。

表 6-16　刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	粗铣键槽，留 0.3 mm 精加工余量	T1	ϕ8mm 键槽铣刀	1000	70
2	精铣键槽	T2	ϕ8mm 立铣刀	1200	60

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，粗加工参考程序见表 6-17；精加工时将主程序中刀具改为 T2，主轴转速改为 S1200，进给速度改为 F60，两个子程序中下刀深度改为 Z-3 即可，请读者自行分析。

表 6-17　数控加工参考程序（粗加工）

程序	说明
SK7101.MPF	主程序名
N10 G17 G90 G54 S1000 M03	
N20 T1 D1 M06	调用 1 号ϕ8mm 键槽铣刀
N30 G158 X-20 Y-20 Z0	
N40 L20	调用子程序粗加工键槽 4
N50 G158 X20 Y20 Z0	
N60 L20	调用子程序粗加工键槽 5
N70 G158 X-20 Y20 Z0	
N80 L30	调用子程序粗加工键槽 1
N90 G158	
N100 L30	调用子程序粗加工键槽 2
N120 G158 X20 Y-20 Z0	
N130 L30	调用子程序粗加工键槽 3
N140 G158	
N150 G00 Z100	
N160 M05	
N170 M30	程序结束
L20.SPF	子程序名（键槽 4、5 粗加工）
N10 G00 X10 Y2 Z5	
N20 G01 Z-2.7 F50	下刀深度 2.7mm
N30 G41 X5 Y-2.5 F70	
N40 G03 X10 Y-7.5 CR=5	圆弧切入至 *A* 点
N50 X10 Y7.5 CR=7.5	圆弧加工至 *B* 点
N60 G01 X-10 Y7.5	直线加工至 *C* 点
N70 G03 X-10 Y-7.5 CR=7.5	圆弧加工至 *D* 点
N75 G01 X10 Y-7.5	直线加工至 *A* 点
N80 G03 X15 Y-2.5 CR=5	圆弧切出
N90 G01 G40 X10 Y2	
N100 G00 Z5	
N110 RET	子程序结束

（续）

程　　序	说　　明
L30.SPF	子程序名（键槽 1、2、3 粗加工）
N10 G00 X15 Y5 Z5	
N20 G41 X4.854 Y-4	
N30 G01 Z-2.7 F50	下刀深度 2.7mm
N40 G03 X7.5 Y-5 CR=4 F70	圆弧切入至 *A* 点
N50 X7.5 Y5 CR=5	圆弧加工至 *B* 点
N60 G01 X-7.5 Y5	直线加工至 *C* 点
N70 G03 X-7.5 Y-5 CR=5	圆弧加工至 *D* 点
N80 G01 X7.5 Y-5	直线加工至 *A* 点
N90 G03 X10.146 Y-4 CR=4	圆弧切出
N100 G00 Z5	
N110 G40 X15 Y5	
N120 RET	子程序结束

6.3.2　实例 72—— 槽类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

图 6-10 零件中沟槽由直线和圆弧组成，可以采用多次调用子程序来达到铣削不同深度的目的。毛坯外形尺寸已加工好，零件采用机用虎钳装夹，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。工件 G54 坐标原点建立在工件左下角，*Z* 轴零点在工件上表面。

根据零件图形及尺寸，通过 CAD 作图法，可以求出各个基点的坐标值，各基点的坐标位置如图 6-11 所示，基点坐标值见表 6-18。

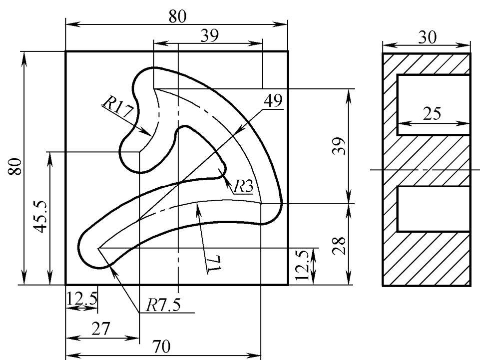


图 6-10　实例 72 零件图

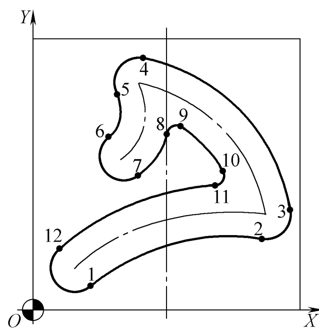


图 6-11　各基点的坐标位置

表 6-18　基点的坐标值　　（单位：mm）

基　　点	坐标（*X*，*Y*）	基　　点	坐标（*X*，*Y*）
1	（17.2，6.9）	7	（31.8，39.7）
2	（68.7，20.6）	8	（39.8，52）
3	（77.4，29.4）	9	（44.3，53.8）
4	（32.4，74.4）	10	（56.9，41）
5	（24.5，63.3）	11	（54.5，36.4）
6	（22.2，51.3）	12	（7.7，18.3）

2. 刀具与切削用量选择

零件上最小圆弧轮廓半径为 7.5mm，所选铣刀直径不得大于 15mm，选用ϕ12mm 立铣刀分层铣削。

零件毛坯尺寸为 80mm×80mm×30mm，加工材料为硬铝，硬度较低，切削力较小，切削速度可较快，但垂直下刀进给量应小。切削用量的选择参见表 6-19。

表 6-19 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	分层铣削	T1	ϕ12mm 立铣刀	1000	200

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，数控加工参考程序见表 6-20。

表 6-20 数控加工参考程序

程序	说明
SK7201.MPF	主程序名
N10 G17 G90 G54 S1000 M03	
N20 T1 D1 M06	调用 1 号ϕ12mm 立铣刀
N30 M08	
N40 G00 X12.5 Y12.5 Z50	
N50 Z2	
N60 G01 Z0 F80	
N70 L01 P5	调用子程序 5 次，分层铣削
N80 G74 Z1=0	
N90 M05 M09	
N100 M30	程序结束
L01.SPF	子程序名（沟槽）
N10 G01 Z-5 F80	
N20 G90 G41 G01 X10.2 Y13.9 F200	
N30 G03 X17.2 Y6.9 CR=7	圆弧切入至 1 点
N40 G02 X68.7 Y20.6 CR=63.5	圆弧加工至 2 点
N50 G03 X77.4 Y29.4 CR=7.5	圆弧加工至 3 点
N60 G03 X32.4 Y74.4 CR=56.5	圆弧加工至 4 点
N70 G03 X24.5 Y63.3 CR=7.5	圆弧加工至 5 点
N80 G02 X22.2 Y51.3 CR=9.5	圆弧加工至 6 点
N90 G03 X31.8 Y39.7 CR=7.5	圆弧加工至 7 点
N100 G03 X39.8 Y52 CR=24.5	圆弧加工至 8 点
N110 G02 X44.3 Y53.8 CR=3	圆弧加工至 9 点
N120 G02 X56.9 Y41 CR=41.5	圆弧加工至 10 点
N130 G02 X54.5 Y36.4 CR=3	圆弧加工至 11 点
N140 G03 X7.7 Y18.3 CR=78.5	圆弧加工至 12 点
N150 G03 X17.2 Y6.9 CR=7.5	圆弧加工至 1 点
N160 G01 G40 X12.5 Y12.5	
N170 RET	子程序结束

6.3.3 实例 73——槽类零件编程加工（三）

1. 零件工艺分析

图 6-12 零件中各凹槽形状和尺寸相同，且均匀圆周分布，可以采用 SLOT1 铣槽循环进行加工。零件采用机用虎钳装夹，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。工件 G54 坐标原点建立在工件的对称中心处，*Z* 轴零点在工件上表面。

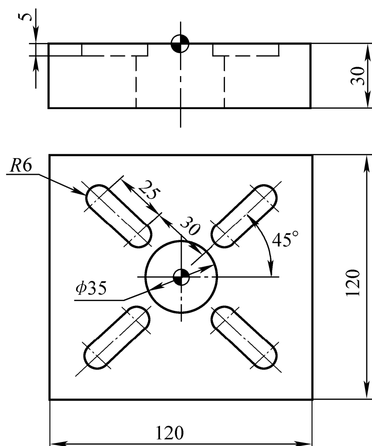


图 6-12 实例 73 零件图

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选用ϕ12 mm 立铣刀铣削通孔，选用ϕ10 mm 立铣刀铣削均布槽。

零件毛坯尺寸为 120mm×120mm×30mm，加工材料为硬铝，硬度较低，切削力较小，切削速度可较快，但垂直下刀进给量应小。切削用量的选择参见表 6-21。

表 6-21 切削用量表

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	铣削ϕ30 mm 通孔	T1	ϕ12 mm 立铣刀	800	200
2	铣削均布槽	T2	ϕ10 mm 立铣刀	1000	150

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，数控加工参考程序见表 6-22。

表 6-22 数控加工程序

程序	说明
SK7301.MPF	主程序名
N10 T1 D1 M06	调用 1 号ϕ12mm 立铣刀
N20 G17 G90 G54 G00 X0 Y0 Z50	
N30 S1000 M03 M08	
N40 G00 Z5	
N50 G01 Z0 F80	
N60 L1 P5	调用子程序铣削圆孔

（续）

程　　序	说　　明
N70 G74 Z1=0	
N80 M05 M09	
N90 T2 D1 M06	调用 2 号ϕ10mm 立铣刀
N100 S600 M03 M08	
N110 G54 G00 X0 Y0 Z50	
N120 SLOT1（10,0,2,5,4,31,6,0,0,25,45, 45,80,150,5,3,0.2,0,0.1,100,1200）	设置铣槽参数
N130 G74 Z1=0	
N140 M05 M09	
N150 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（圆孔）
N10 G91 G01 Z−6 F80	
N20 G41 G01 X10 Y7.5 F300	
N30 G03 X0 Y17.5 CR=10	
N40 G03 I0 J−17.5	
N50 G03 X−10 Y7.5 CR=10	
N60 G01 G40 X0 Y0	
N70 RET	子程序结束

6.3.4　实例 74——槽类零件编程加工（四）

1. 零件工艺分析

图 6-13 零件中四个直槽形状和尺寸相同，可编写一个子程序，用镜像指令加工其余三个；中间三个圆弧槽形状和尺寸相同，可另编写一个子程序，其余两个用坐标轴偏转指令调用子程序加工。零件采用机用虎钳装夹，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。工件 G54 坐标原点建立在工件的对称中心处，*Z* 轴零点在工件上表面。

根据零件图形及尺寸，通过 CAD 作图法，可以求出各个基点的坐标值，各基点的坐标位置如图 6-14 所示，基点的坐标值见表 6-23。

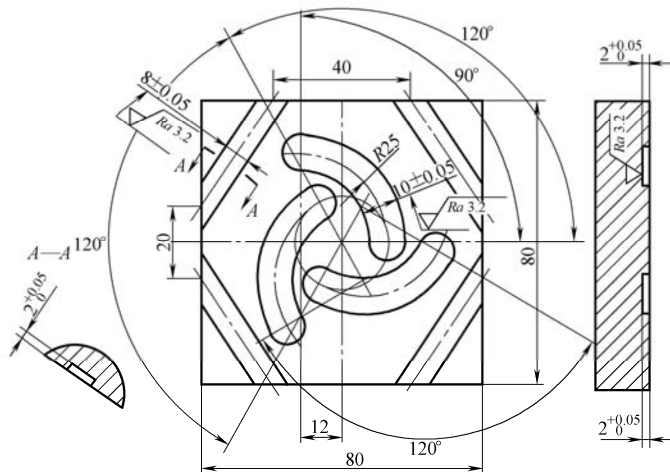


图 6-13　实例 74 零件图

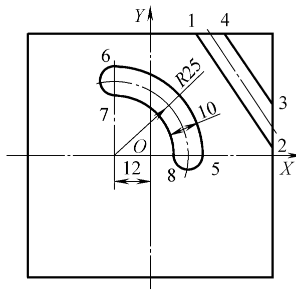


图 6-14　各基点的坐标位置

表 6-23 基点的坐标值 （单位：mm）

基 点	坐标（X，Y）	基 点	坐标（X，Y）
1	（15.193，40）	5	（18，0）
2	（40，2.79）	6	（−12，30）
3	（40，17.212）	7	（−12，20）
4	（24.807，40）	8	（8，0）

2. 刀具与切削用量选择

零件上最小圆弧轮廓半径为 5 mm，槽宽最小为 8 mm，所选铣刀直径不得大于 8 mm，选用ϕ6 mm 铣刀，粗加工用键槽铣刀铣削，精加工用立铣刀。

零件加工材料为硬铝，硬度较低，切削力较小，粗铣深度除留精铣余量外，一刀铣完；切削速度可较快，但垂直下刀进给量应小，切削用量的选择参见表 6-24。

表 6-24 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/(mm/min）
1	粗铣直槽、圆弧槽，留 0.3 mm 精加工余量	T1	ϕ6 mm 键槽铣刀	1000	60
2	精铣直槽、圆弧槽	T2	ϕ6 mm 立铣刀	1200	50

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，键槽粗加工参考程序见表 6-25；精加工时将主程序中刀具改为 T2，主轴转速改为 S1200，进给速度改为 F50，两个子程序中下刀深度改为 *Z*-2 即可，请读者自行分析。

表 6-25 数控加工参考程序（粗加工）

程 序	说 明
SK7401.MPF	主程序名
N10 G17 G90 G54 S1000	
N20 T1 D1 M06 M03 M08	调用 1 号ϕ6mm 键槽铣刀
N30 L10	调用子程序粗加工斜槽
N40 MIRROR X0	*X* 轴镜像
N50 L10	调用子程序粗加工斜槽
N60 MIRROR Y0	*Y* 轴镜像
N70 L10	调用子程序粗加工斜槽
N80 MIRROR X0 Y0	*X*、*Y* 轴镜像
N90 L10	调用子程序粗加工斜槽
N100 MIRROR	取消镜像
N110 L20	调用子程序粗加工圆弧槽
N120 ROT RPL=120	坐标轴偏转 120°
N130 L20	调用子程序粗加工圆弧槽
N140 ROT RPL=240	坐标轴偏转 240°
N150 L20	调用子程序粗加工圆弧槽
N160 ROT	取消坐标轴偏转
N170 G00 Z100	
N180 M05 M09	
N190 M30	程序结束

（续）

程　　序	说　　明
L10.SPF	子程序名（斜槽粗加工）
N10 G00 X30 Y45 Z5	
N20 G01 Z-1.7 F40	下刀深度 1.7mm
N30 G41 X15.193 Y40 F60	建立刀补到 1 点
N40 X40 Y2.79	加工直槽一侧到 2 点
N50 G40 X45 Y6.91	取消刀补
N60 G41 X40 Y17.212	建立刀补到 3 点
N70 X24.807 Y40	加工直槽一侧到 4 点
N80 G40 X30 Y45	取消刀补
N90 G00 Z5	
N100 RET	子程序结束
L20.SPF	子程序名（圆弧槽粗加工）
N10 G00 X13 Y3 Z5	
N20 G01 Z-1.7 F40	下刀深度 1.7mm
N30 G41 X8 Y0 F60	建立刀补到 8 点
N40 G03 X18 Y0 CR=5	圆弧加工到 5 点
N50 G03 X-12 Y30 CR=30	圆弧加工到 6 点
N60 G03 X-12 Y20 CR=5	圆弧加工到 7 点
N70 G02 X8 Y0 CR=20	圆弧加工到 8 点
N80 G01 G40 X13 Y3	取消刀补
N90 G00 Z5	
N100 RET	子程序结束

6.4 孔系编程加工（4 例）

6.4.1 实例 75——孔系编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 6-15 零件上 8 个通孔相对较深，故采用 CYCLE83 深孔钻削循环进行加工。

零件采用机用虎钳装夹方式，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。工件 G54 坐标原点建立在工件的左侧中心处，*Z* 轴零点在工件上表面。

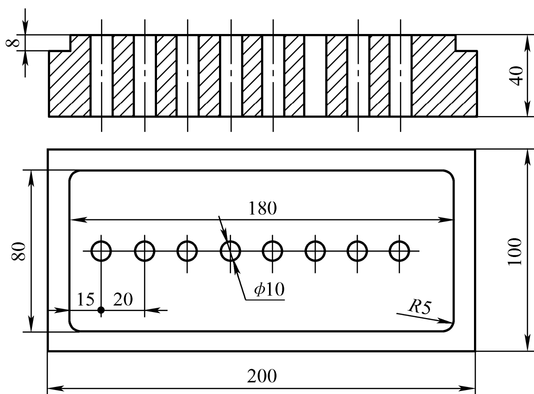


图 6-15　实例 75 零件图

根据零件的形状和尺寸，用 CAD 作图求出各基点坐标，如图 6-16 所示，各基点的坐标值见表 6-26。

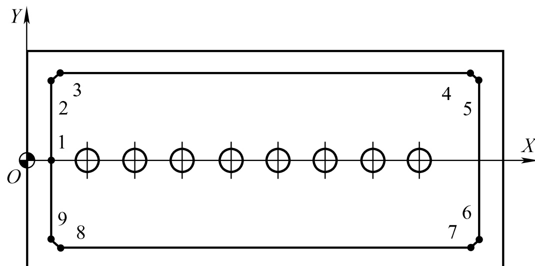


图 6-16　各基点的坐标位置

表 6-26　基点的坐标值　（单位：mm）

基　点	坐标（X，Y）	基　点	坐标（X，Y）
1	（10，0）	6	（190，−35）
2	（10，35）	7	（185，−40）
3	（15，40）	8	（15，−40）
4	（185，40）	9	（10，−35）
5	（190，35）	—	—

2．刀具与切削用量选择

根据加工要求，选用ϕ16 mm 立铣刀铣削外轮廓，钻孔选用ϕ10 mm 麻花钻。

零件毛坯尺寸为 200mm×100mm×40mm，加工材料为硬铝，钻孔速度可以提高，但垂直下刀进给量应小些，切削用量的选择参见表 6-27。

表 6-27　工具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	铣削外部轮廓	T1	ϕ16 mm 立铣刀	800	300
2	钻孔	T2	ϕ10 mm 麻花钻	600	150

3．参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，数控加工参考程序见表 6-28。

表 6-28　数控加工参考程序

程　序	说　明
SK7501.MPF	主程序名
N10 G17 G90 G54	
N20 T1 D1 M06	调用 1 号ϕ16mm 立铣刀
N30 G00 X0 Y0 Z50	
N40 S800 M03 M08	
N50 G00 X−20 Y0 Z5	
N60 G01 Z−8 F80	
N70 L1	调用子程序加工外轮廓
N80 G74 Z1=0	
N90 M05 M09	
N100 T2 D2 M06	调用 2 号ϕ10mm 麻花钻
N110 S600 M03 M08	
N120 G00 X25 Y0	

（续）

程　　序	说　　明
N130 L2 P8	调用子程序加工 8 个深孔
N140 G74 Z1=0	
N150 M05 M09	
N160 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（外轮廓）
N10 G41 G01 X-10 Y-20 F300	
N20 G03 X10 Y0 CR=20	
N30 G01 Y35	
N40 G02 X15 Y40 CR=5	
N50 G01 X185	
N60 G02 X190 Y35 CR=5	
N70 G01 Y-35	
N80 G02 X185 Y-40 CR=5	
N90 G01 X15	
N100 G02 X10 Y-35 CR=5	
N110 G01 Y0	
N120 G03 X-10 Y20 CR=20	
N130 G40 G01 X-20 Y0	
N140 RET	子程序结束
L2.SPF	子程序名（深孔钻削）
N10 CYCLE83（20,0,2,,45,,20,5,0,0,1,1）	设置深孔钻削参数
N20 G91 G00 X20	钻孔后向右移动 20mm 至第 2 个孔位置
N30 RET	子程序结束

6.4.2　实例 76——孔系编程加工（二）

1. 零件工艺分析

图 6-17 所示零件上 6 个孔均为不通孔，精度不高，可以采用钻孔+铣孔的方案。其中 4 个ϕ14 的孔因加工内容相同，为简化编程，可以编写一个子程序，重复调用 4 次。

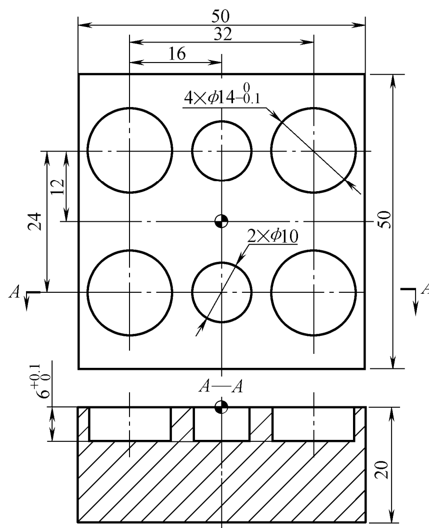


图 6-17　实例 76 零件图

零件采用机用虎钳装夹方式，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。工件 G54 坐标原点建立在工件的左侧中心处，*Z* 轴零点在工件上表面。工件坐标系建立后，6 个孔的位置坐标便可以求出，分别为（−16，12）、（0，12）、（16，12）、（−16，−12）、（0，−12）、（16，−12）。

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选用ϕ3mm 中心钻、ϕ9mm 麻花钻、ϕ10mm 键槽铣刀共三把刀。

零件毛坯尺寸为 50mm×50mm×20mm，加工材料为硬铝，铣孔深度较浅，切削速度可以提高，但垂直下刀进给量应小些，切削用量的选择参见表 6-29。

表 6-29 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/mm/min
1	钻中心孔	T1	ϕ3 mm 中心钻	1000	100
2	钻孔	T2	ϕ9 mm 麻花钻	1000	100
3	铣孔	T3	ϕ10 mm 键槽铣刀	1200	80

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，数控加工参考程序见表 6-30。

表 6-30 数控加工参考程序

程序	说明
SK7601.MPF	主程序名
N10 G17 G90 G54 G71 G94 G40	
N20 T1 D1 M06	调用 1 号ϕ3mm 中心钻
N30 M03 M08 S1000 F100	
N40 G00 X-16 Y12 Z50	
N50 MCALL CYCLE82（10,0,5,-3,,2）	模态调用钻孔固定循环
N60 X-16 Y-12	钻中心孔
N70 X0 Y-12	钻中心孔
N80 X16 Y-12	钻中心孔
N90 X16 Y12	钻中心孔
N100 X0 Y12	钻中心孔
N110 MCALL	取消模态调用
N120 G00 Z150	
N130 M05 M09	
N140 T2 D1 M06	调用 2 号ϕ9mm 麻花钻
N150 M08 M03 S1000 F100	
N160 G00 X-16 Y12 Z50	
N170 MCALL CYCLE82（10,0,5,-6,,2）	模态调用钻孔固定循环
N180 X-16 Y-12	钻孔
N190 X0 Y-12	钻孔
N200 X16 Y-12	钻孔
N210 X16 Y12	钻孔
N220 X0 Y12	钻孔
N230 MCALL	取消模态调用
N240 G00 Z150	
N250 M05 M09	
N260 T3 D1 M06	调用 3 号ϕ10mm 键槽铣刀
N270 M08 M03 S1200 F80	

（续）

程　　序	说　　明
N280 G00 X0 Y12	
N290 G01 Z-6.05 F80	铣孔
N300 G04 F5	
N310 G01 Z5 F200	
N320 G00 Y-12	
N330 G01 Z-6.05 F80	铣孔
N340 G04 F5	
N350 G01 Z5 F200	
N360 G00 X16 Y-12	
N370 L01	调用子程序铣孔
N380 G00 X16 Y12	
N390 L01	调用子程序铣孔
N400 G00 X-16 Y12	
N410 L01	调用子程序铣孔
N420 G00 X-16 Y-12	
N430 L01	调用子程序铣孔
N440 G00 Z150	
N450 M05 M09	
N460 M30	程序结束
L10.SPF	子程序名（铣孔）
N10 G00 G01 Z-6.05 F80	
N20 G91 G01 X1.975	
N30 G02 I-1.975	
N40 G01 X-1.975	
N50 G90 G00 Z5	
N60 RET	子程序结束

6.4.3　实例 77——孔系编程加工（三）

1. 零件工艺分析

图 6-18 零件各螺纹孔大小相同，距离均匀，采用钻中心孔、钻孔、攻螺纹的加工方案。零件采用机用虎钳装夹或置于工作台面上，下面两侧用等高垫块，上面用压板压紧。工件 G54 坐标原点建立在工件的对称中心处，*Z* 轴零点在工件上表面。

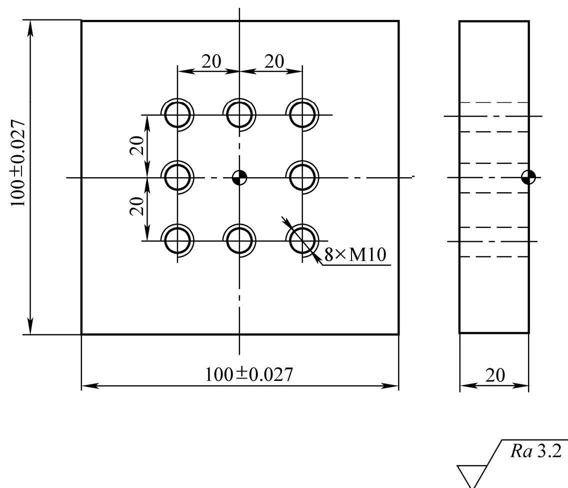


图 6-18　实例 77 零件图

2．刀具与切削用量选择

根据加工要求，选用ϕ3 mm 中心钻、ϕ8.5 mm 麻花钻、M10 mm 丝锥加工螺纹孔。

零件毛坯尺寸为 100mm×100mm×30mm，加工材料为 45 钢，切削速度不可太快，切削用量的选择参见表 6-31。

表 6-31 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	钻中心孔	T1	ϕ3 mm 中心钻	1200	120
2	钻 M10 螺纹底孔	T2	ϕ8.5 mm 麻花钻	650	100
3	攻 M10 螺孔	T3	M10 丝锥	250	30

3．参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，数控加工参考程序见表 6-32。

表 6-32 数控加工参考程序

程序	说明
SK7701.MPF	主程序名
N10 G17 G90 G54 G71 G94 G40	
N20 T1 D1 M06	调用 1 号ϕ3mm 中心钻
N30 M03 M08 S1200 F120	
N40 G00 Z150	
N50 MCALL CYCLE81（10,0,2,-2,2）	模态调用钻孔固定循环
N60 X-20 Y20	钻中心孔
N70 Y0	钻中心孔
N80 Y-20	钻中心孔
N90 X0	钻中心孔
N100 X-20	钻中心孔
N110 Y0	钻中心孔
N120 Y20	钻中心孔
N130 X0	钻中心孔
N140 MCALL	取消模态调用
N150 G00 Z150	
N160 M05 M09	
N170 T2 D1 M06	调用 2 号ϕ8.5mm 麻花钻
N180 M03 M08 S650 F100	
N190 MCALL CYCLE83（10,0,2,,25,,5,0,0,1,1,1）	模态调用钻孔固定循环
N200 X-20 Y20	钻 M10 螺纹底孔
N210 Y0	钻 M10 螺纹底孔
N220 Y-20	钻 M10 螺纹底孔
N230 X0	钻 M10 螺纹底孔
N240 X-20	钻 M10 螺纹底孔
N250 Y0	钻 M10 螺纹底孔
N260 Y20	钻 M10 螺纹底孔
N270 X0	钻 M10 螺纹底孔
N280 MCALL	取消模态调用

（续）

程　　序	说　　明
N290 G00 Z150	
N300 M05 M09	
N310 T3 D1 M06	调用 3 号 M10 丝锥
N320 M03 M08 S250 F30	
N330 MCALL CYCLE840（10,0,2,,25,1,4,3,1,,）	模态调用攻螺纹固定循环
N340 X-20 Y20	攻 M10 螺孔
N350 Y0	攻 M10 螺孔
N360 Y-20	攻 M10 螺孔
N370 X0	攻 M10 螺孔
N380 X-20	攻 M10 螺孔
N390 Y0	攻 M10 螺孔
N400 Y20	攻 M10 螺孔
N410 X0	攻 M10 螺孔
N420 MCALL	取消模态调用
N430 G00 Z150	
N440 M05 M09	
N450 M30	程序结束

6.4.4　实例 78——孔系编程加工（四）

1. 零件工艺分析

图 6-19 零件为各种不同要求通孔的加工，孔 1 和孔 2 孔径不大，精度较低，采用钻孔+扩孔的加工方案；孔 3 和孔 4 孔径不大，精度较高，表面质量高，采用钻孔+扩孔+铰孔的加工方案；孔 5 和孔 6 孔径较大，精度要求较高，表面质量要求高，精加工采用镗孔方案，之前还需安排钻孔、扩孔、粗镗等加工工序。

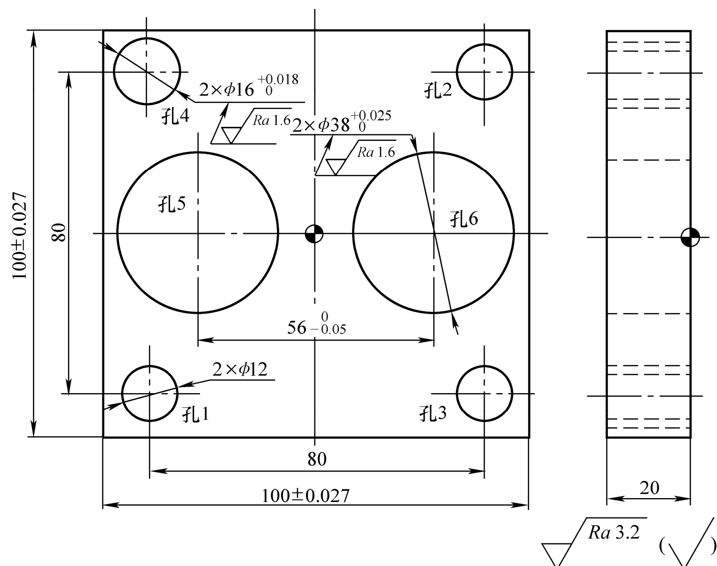


图 6-19　实例 78 零件图

零件采用机用虎钳装夹，工件 G54 坐标原点建立在工件的对称中心处，*Z* 轴零点在工件上表面。

2. 刀具与切削用量选择

零件毛坯尺寸为 100mm×100mm×20mm，加工材料为 45 钢，钻孔和铰孔切削速度不可太高；镗孔精度要求较高，可以减少切削余量，提高主轴转速，降低进给速度。根据加工要求，刀具和切削用量的选择参见表 6-33

表 6-33　刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/min）
1	钻中心孔	T1	ϕ3 mm 中心钻	1200	120
2	钻孔 1、孔 2、孔 3、孔 4	T2	ϕ10 mm 麻花钻	650	100
3	钻孔 5 和孔 6	T3	ϕ20 mm 麻花钻	350	40
4	扩孔 5 和孔 6	T4	ϕ35 mm 麻花钻	150	20
5	扩孔 1 和孔 2	T5	ϕ12 mm 麻花钻	550	80
6	扩孔 3 和孔 4	T6	ϕ15.8 mm 麻花钻	400	50
7	铰孔 3 和孔 4	T7	ϕ16H7 铰刀	250	30
8	粗镗孔 5 和孔 6	T8	ϕ37.5 mm 粗镗刀	850	80
9	精镗孔 5 和孔 6	T9	ϕ38 mm 精镗刀	1000	40

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，数控加工参考程序见表 6-34。

表 6-34　数控加工参考程序

程　　序	说　　明
SK7801.MPF	主程序名
N10 G17 G90 G54 G71 G94 G40	
N20 T1 D1 M06	调用 1 号ϕ3mm 中心钻
N30 M03 S1200 F120	
N40 G00 Z150	
N50 MCALL CYCLE81（10,0,2,−2,2）	模态调用钻孔固定循环
N60 X−40 Y−40	钻中心孔
N70 Y40	钻中心孔
N80 X40	钻中心孔
N90 Y−40	钻中心孔
N100 MCALL	取消模态调用
N110 G00 Z150	
N120 M05	
N130 G00 Z100 T2 D1 M06 M07	调用 2 号ϕ10mm 麻花钻
N140 M03 S650 F100	
N150 MCALL CYCLE83（10,0,2,,25,,5,0,0,1,1,1）	模态调用钻孔固定循环

（续）

程　　序	说　　明
N160 X-40 Y-40	钻孔 1
N170 Y40	钻孔 2
N180 X40	钻孔 3
N190 Y-40	钻孔 4
N200 MCALL	取消模态调用
N210 G00 Z150 M05 M09	
N220 T3 D1 M06 M07	调用 3 号 ϕ20mm 麻花钻
N230 M03 S350 F40	
N240 MCALL CYCLE83（10,0,2,,30,,5,0,0,1,1,1）	模态调用钻孔固定循环
N250 X-28 Y0	钻孔 5
N260 X28	钻孔 6
N270 MCALL	取消模态调用
N280 G00 Z150	
N290 M05 M09	
N300 G00 Z100 T4 D1 M06 M07	调用 4 号 ϕ35mm 麻花钻
N310 M03 S150 F20	
N320 MCALL CYCLE83（10,0,2,,36,,5,0,0,1,1,1）	模态调用钻孔固定循环
N330 X-28 Y0	扩孔 5
N340 X28	扩孔 6
N350 MCALL	取消模态调用
N360 G00 Z150	
N370 M05 M09	
N380 G00 Z100 T5 D1 M06 M07	调用 5 号 ϕ12mm 麻花钻
N390 M03 S550 F80	
N400 MCALL CYCLE83（10,0,2,,26,,5,0,0,1,1,1）	模态调用钻孔固定循环
N410 X-40 Y-40	扩孔 1
N420 X40 Y40	扩孔 2
N430 MCALL	取消模态调用
N440 G00 Z150	
N450 M05 M09	
N460 G00 Z100 T6 D1 M06 M07	调用 6 号 ϕ15.8mm 麻花钻
N470 M03 S400 F50	
N480 MCALL CYCLE83（10,0,2,,28,,5,0,0,1,1,1）	模态调用钻孔固定循环
N490 X40 Y-40	扩孔 3
N500 X-40 Y40	扩孔 4
N510 MCALL	取消模态调用
N520 G00 Z150	
N530 M05 M09	
N540 G00 Z100 T7 D1 M06 M07	调用 7 号 ϕ16H7 铰刀
N550 M03 S250 F30	
N560 MCALL CYCLE85（10,0,2,,28,0,30,50）	模态调用铰孔固定循环

（续）

程　　序	说　　明
N570 X40 Y-40	铰孔 3
N580 X-40 Y40	铰孔 4
N590 MCALL	取消模态调用
N600 G00 Z150	
N610 M05 M09	
N620 G00 Z100 T8 D1 M06 M07	调用 8 号 ϕ37.5mm 粗镗刀
N630 M03 S850 F80	
N640 MCALL CYCLE85（10,0,2,,22,0,80,150）	模态调用镗孔固定循环
N650 X-28 Y0	粗镗孔 5
N660 X28	粗镗孔 6
N670 MCALL	取消模态调用
N680 G00 Z150	
N690 M05 M09	
N700 G00 Z100 T9 D1 M06 M07	调用 9 号 ϕ38mm 精镗刀
N710 M03 S1000 F40	
N720 MCALL CYCLE85（10,0,2,,22,0,40,60）	模态调用镗孔固定循环
N730 X-28 Y0	精镗孔 5
N740 X28	精镗孔 6
N750 MCALL	取消模态调用
N760 G00 Z150	
N770 M05 M09	
N780 M30	程序结束

6.5　型腔类零件编程加工（2 例）

6.5.1　实例 79——型腔类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

从图 6-20 可以看出，该零件外形规整，为盘形带孤岛型腔，加工轮廓由直线、外圆弧和内圆弧构成。选用机用虎钳装夹，垫平底面，上面露出 5mm 左右，夹 70mm 宽两平行侧面、另一侧面用一挡板与机用虎钳侧面平齐。工件 G54 坐标原点建立在工件的对称中心处，Z 轴零点在工件上表面。

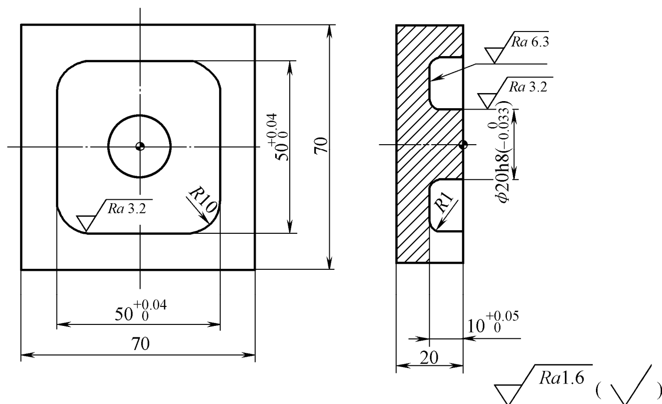


图 6-20　实例 79 零件图

根据零件形状及加工精度要求，型腔及孤岛用立铣刀分粗、精铣两工步完成加工。刀具路径如图 6-21 所示，Z 向分两次深度进刀。X-Y 平面轮廓加工用第一级子程序编制，Z 向分两次深度循环用第二级子程序编制。粗、精加工通过刀补设置，精加工至图样尺寸。根据刀具路径计算出各基点坐标值，各基点的坐标位置如图 6-21 所示，基点的坐标值见表 6-35。

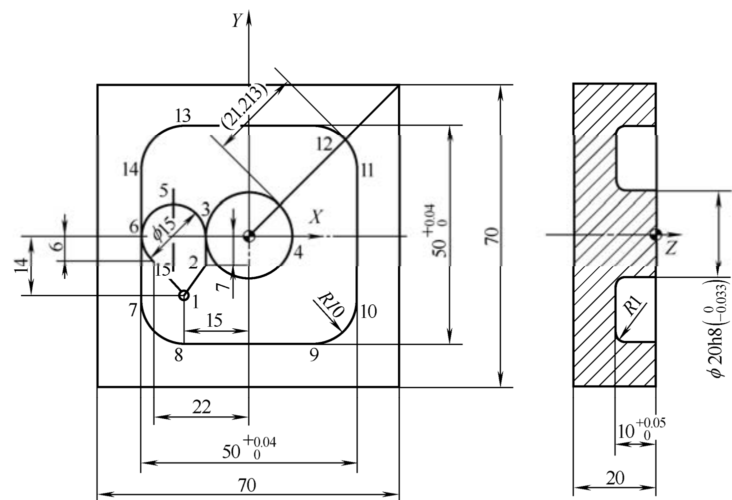


图 6-21　各基点的坐标位置（图中 4、5 点坐标分别为 4（10，0），5（−17.5，7.5））

表 6-35　基点的坐标值　　（单位：mm）

基　　点	坐标（X，Y）	基　　点	坐标（X，Y）
1	（−15，−14）	10	（25，−15）
2	（−10，−7）	11	（25，15）
3	（−10，0）	12	（15，25）
6	（−25，0）	13	（−15，25）
7	（−25，−15）	14	（−25，15）
8	（−15，−25）	15	（−22，−6）
9	（15，−25）	—	—

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，粗铣选用ϕ14 mm 立铣刀，精铣刀具与粗铣相同。

零件加工材料为 45 钢，硬度较高，切削力较大，切削速度应选择低些，切削用量的选择参见表 6-36。

表 6-36　刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀　具　号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速 /（r/min）	进给速度 /（mm/min）
1	粗铣	T1	ϕ14 mm 立铣刀	570	140
2	精铣	T1	ϕ14 mm 立铣刀	650	80

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，数控加工参考程序见表 6-37。

表 6-37 数控加工参考程序

程　　序	说　　明
SK7901.MPF	主程序名
N10 G54 G90 G00 X-15 Y-14 F30 S570 M03 ；	（粗加工 S570，精加工 S650）
N20 T1 D01 M06	
N30 Z2 M08 ；	
N40 G01 Z0.1 ；	
N50 L1 P2 ；	调用 *Z* 向循环子程序两次（精加工时取消）
N60 G90 G00 Z300 M09 ；	
N70 M30 ；	程序结束
L1.SPF	子程序名（*Z* 向循环）
N10 G91 G01 Z-5 F30 ；	*Z* 向慢速下切 5mm（精加工时，Z-5→Z-10）
N20 L2 ；	调用加工型腔子程序 L2
N30 RET ；	子程序结束
L2.SPF	子程序名（分层加工型腔）
N10 G90 G01 G41 D01 X-10 Y-7 F140 ；	建立刀补到达点 2（粗加工 F140，精加工 F80）
N20 X-10 Y0 ；	点 3
N30 G02 I10 J0 ；	铣孤岛圆
N40 G03 X-25 Y0 CR=-7.5 ；	点 6
N50 G01 X-25 Y-15 ；	点 7
N60 G03 X-15 Y-25 CR=10 ；	点 8
N70 G01 X15 Y-25 ；	点 9
N80 G03 X25 Y-15 CR=10 ；	点 10
N90 G01 X25 Y15 ；	点 11
N100 G03 X15 Y25 CR=10 ；	点 12
N110 G01 X-15 Y25 ；	点 13
N120 G03 X-25 Y15 CR=10 ；	点 14
N130 G01 X-25 Y0 ；	点 6
N140 G03 X-22 Y-6 CR=7.5 ；	点 15
N150 G01 G40 X-15 Y-14 ；	撤销刀补回到下刀点 1
N160 RET;	子程序结束

6.5.2 实例 80——型腔类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

图 6-22 零件中方形型腔深度 6mm，不能一次加工至深度尺寸，粗加工采用分层铣削，每一层加工采用行切法切除多余材料，如图 6-23 所示。精加工采用圆弧切入和切出，以避免轮廓产生刀痕，如图 6-24 所示。环形槽粗、精加工采用同一程序，只需在加工中设置不同刀补值即可。

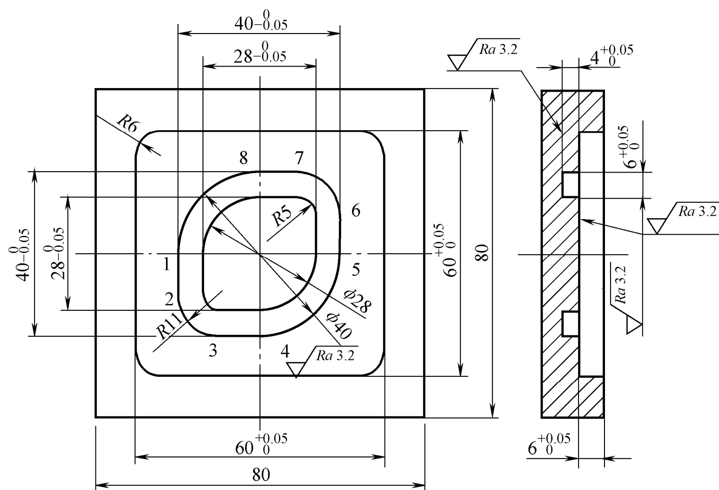


图 6-22　实例 80 零件图

零件采用机用虎钳装夹，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。工件 G54 坐标原点建立在工件的对称中心处，*Z* 轴零点在工件上表面。

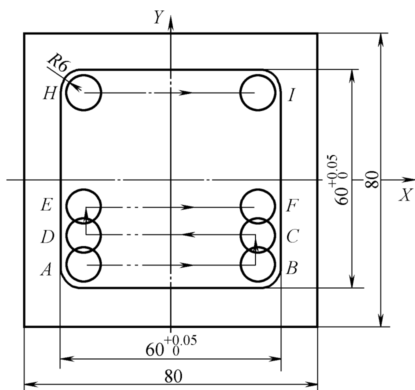


图 6-23　方形型腔粗加工路线

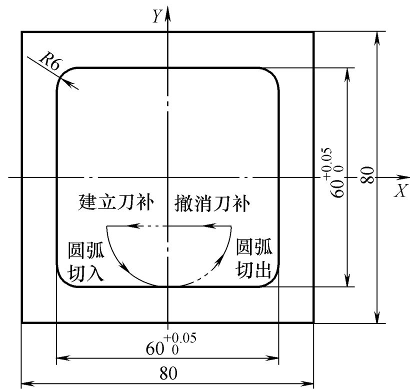


图 6-24　方形型腔精加工路线

方形型腔粗加工时，轮廓留加工余量 1mm，行距取 9mm，*A*、*D*、*E*、…、*H* 各点 *X* 坐标一样，*Y* 坐标依次放大一个行距。*B*、*C*、*F*、…、*I* 各点 *X* 坐标一样，*Y* 坐标依次放大一个行距，各基点坐标值见表 6-38。

表 6-38　方形型腔粗加工基点的坐标值　　（单位：mm）

基　点	坐标（*X*，*Y*）	基　点	坐标（*X*，*Y*）
A	（−24，−24）	*B*	（24，−24）
D	（−24，−15）	*C*	（24，−15）
E	（−24，−6）	*F*	（24，−6）
	（−24，3）		（24，3）
	（−24，12）		（24，12）
	（−24，21）		（24，21）
H	（−24，24）	*I*	（24，24）

环形槽加工时，内、外侧基点的坐标值见表 6-39。

表 6-39 环形槽内、外侧基点的坐标值 （单位：mm）

基 点	槽内侧（X，Y）	槽外侧（X，Y）	基 点	槽内侧（X，Y）	槽外侧（X，Y）
1	（-20，0）	（-14，0）	5	（20，0）	（14，0）
2	（-20，-9）	（-14，-9）	6	（20，9）	（14，9）
3	（-9，-20）	（-9，-14）	7	（9，20）	（9，14）
4	（0，-20）	（0，-14）	8	（0，20）	（0，14）

2. 刀具与切削用量选择

零件上方形型腔最小圆弧轮廓半径为 6mm，所选铣刀直径不得大于 12mm，选用ϕ10 mm 铣刀，粗加工用键槽铣刀铣削，精加工用立铣刀。

环形槽最小拐角半径为 11mm，但环形槽宽度为 6mm，所选铣刀直径不得大于 6mm，选用ϕ5 mm 铣刀，粗、精加工同上。

零件毛坯尺寸为 80mm×80mm×20mm，加工材料为硬铝，硬度较低，切削力较小，切削速度可较快，但由于铣刀直径小，下刀深度和进给速度应较小，切削用量的选择参见表 6-40。

表 6-40 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	粗铣方形型腔	T1	ϕ10 mm 键槽铣刀	1000	70
2	粗铣环形槽	T2	ϕ5 mm 键槽铣刀	1200	60
3	精铣方形型腔	T3	ϕ10 mm 立铣刀	1200	60
4	精铣环形槽	T4	ϕ5 mm 立铣刀	1500	60

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，数控加工参考程序见表 6-41。

表 6-41 数控加工参考程序

程 序	说 明
SK8001.MPF	主程序名
N10 G17 G90 G54 S1000 M03	
N20 T1 D1 M06	调用 1 号ϕ10mm 键槽铣刀
N30 G00 X-24 Y-24 Z5	
N40 G01 Z-2 F50	
N50 L100	调用子程序粗加工方形型腔第一层
N60 G01 Z-4 F50	
N70 L100	调用子程序粗加工方形型腔第二层
N80 G01 Z-5.8 F50	
N90 L100	调用子程序粗加工方形型腔第三层
N100 G00 Z100	
N110 M05	
N120 T2 D2 M06	调用 2 号ϕ5mm 键槽铣刀
N130 M03 S1200	
N140 G41 X-20 Y0	
N150 G01 Z-8 F50	
N160 L300	调用子程序粗加工环形槽外侧面

（续）

程　　序	说　　明
N170 G01 Z-9.8 F50	
N180 L300	调用子程序粗加工环形槽外侧面
N190 G00 Z5	
N200 G40 X-10 Y-10	
N210 G41 X-14 Y0	
N220 G01 Z-8 F50	
N230 L400	调用子程序粗加工环形槽内侧面
N240 G01 Z-9.8 F50	
N250 L400	调用子程序粗加工环形槽内侧面
N260 G00 Z100	
N270 G40 X0 Y0	
N280 M05	
N290 T3 D3 M06	调用 3 号 ϕ10mm 立铣刀
N300 M03 S1200	
N310 G00 X-24 Y-24 Z5	
N320 G01 Z-6 F50	
N330 L100	调用子程序精加工方形型腔底面
N340 G00 Z5	
N350 X0 Y0	
N360 G01 Z-6 F40	
N370 L200	调用子程序精加工方形型腔侧面
N380 G00 Z100	
N390 M05	
N400 T4 D4 M06	调用 4 号 ϕ5mm 立铣刀
N410 M03 S1500	
N420 G01 G41 X-20 Y0	
N430 G01 Z-10 F50	
N440 L300	调用子程序精加工环形槽外侧面
N450 G00 Z5	
N460 G40 X-10 Y10	
N470 G41 X-14 Y0	
N480 G01 Z-10 F50	
N490 L400	调用子程序精加工环形槽内侧面
N500 G00 Z10	
N510 G40 X0 Y0	
N520 G00 Z100	
N530 M05 M09	
N540 M30	程序结束
L100.SPF	子程序名（方形型腔粗加工）
N10 G01 X24 Y-24 F70	
N20 Y-15	
N30 X-24	
N40 Y-6	
N50 X24	
N60 Y3	加工方形型腔从 *A* 点行切至 *I* 点
N70 X-24	
N80 Y12	
N90 X24	
N100 Y21	
N110 X-24	
N120 Y24	
N130 X24	

（续）

程　　序	说　　明
N140 G00 Z5	
N150 X-24 Y-24	
N160 RET	子程序结束
L200.SPF	子程序名（方形型腔精加工）
N10 G01 G41 X-5 Y-25 F70	圆弧切入
N20 G03 X0 Y-30 CR=5	
N30 G01 X24	
N40 G03 X30 Y-24 CR=6	
N50 G01 Y24	
N60 G03 X24 Y30 CR=6	沿方形型腔轮廓加工
N70 G01 X-24	
N80 G03 X-30 Y24 CR=6	
N90 G01 Y-24	
N100 G03 X-24 Y-30 CR=6	
N110 G01 X0	
N120 G03 X5 Y-2.5 CR=5	圆弧切出
N130 G01 G40 X0 Y0	
N140 RET	子程序结束
L300.SPF	子程序名（环形槽外侧加工）
N10 G01 X-20 Y-9 F70	直线加工至 2 点
N20 G03 X-9 Y-20 CR=11	圆弧加工至 3 点
N30 G01 X0	直线加工至 4 点
N40 G03 X20 Y0 CR=20	圆弧加工至 5 点
N50 G01 Y9	直线加工至 6 点
N60 G03 X9 Y20 CR=11	圆弧加工至 7 点
N70 G01 X0	直线加工至 8 点
N80 G03 X-20 Y0 CR=20	圆弧加工至 1 点
N90 RET	子程序结束
L400.SPF	子程序名（环形槽内侧加工）
N10 G02 X0 Y14 CR=14 F70	圆弧加工至 8 点
N20 G01 X9	直线加工至 7 点
N30 G02 X14 Y9 CR=5	圆弧加工至 6 点
N40 G01 Y0	直线加工至 5 点
N50 G02 X0 Y-14 CR=14	圆弧加工至 4 点
N60 G01 X-9	直线加工至 3 点
N70 G02 X-14 Y-9 CR=5	圆弧加工至 2 点
N80 G01 Y0	直线加工至 1 点
N90 RET	子程序结束

6.6 曲面类零件编程加工（2 例）

6.6.1 实例 81——曲面类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 6-25 所示零件外形为半圆球，根据标准圆方程，可以进行 Z 轴方向分层铣削，将曲面看成一串在 Z 向变半径的整圆，刀具在不同高度执行圆弧插补即可。加工半圆球之前，

先加工出直径为 40mm 的圆台。

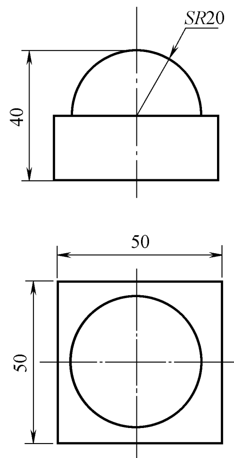


图 6-25 实例 81 零件图

毛坯外形尺寸已加工好，零件采用机用虎钳装夹，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。工件 G54 坐标原点建立在工件的对称中心处，*Z* 轴零点在工件上表面。

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求,选用ϕ16 mm 立铣刀加工椭圆台。

零件毛坯尺寸为 50mm×50mm×40mm，加工材料为硬铝，硬度较低，切削力较小，切削速度可较快，切削用量的选择参见表 6-42。

表 6-42 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	铣削圆台	T1	ϕ16 mm 立铣刀	800	300
2	铣削半圆球	T1	ϕ16 mm 立铣刀	800	300

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，数控加工参考程序见表 6-43。

表 6-43 数控加工参考程序

程序	说明
SK8101.MPF	主程序名
N10 T1 D1 M06	调用 1 号ϕ16mm 立铣刀
N20 G17 G90 G54 G00 X0 Y0 Z50	
N40 S800 M03 M08	
N50 G00 X40 Y0 Z5	
N60 G01 Z0 F80	
N70 L01 P4	调用子程序加工圆台
N90 G00 Z5	
N100 X30 Y0	
N110 L02	调用子程序加工半圆球
N120 G74 Z1=0	
N130 M05 M09	

（续）

程　　序	说　　明
N140 M30	程序结束
L01.SPF	子程序名（圆台）
N10 G91 G01 Z-5 F80	每次切深 5mm
N20 G90 G41 G01 X40 Y20 F300	
N30 G03 X20 Y0 CR=20	
N40 G02 I-20 J0	铣削整圆
N50 G03 X40 Y-20 CR=20	
N60 G01 G40 X40 Y0	
N70 RET	子程序结束
L02.SPF	子程序名（半圆球）
N10 R1=-20	设置初始下刀深度
N20 R2=8	设置刀具半径
N30 R3=20	设置球面高度
N50 MA:R4=R1+R3	计算变量
N60 R6=R2+SQRT（20 * 20-R4 * R4）	
N70 G01 Z=R1 F80	*Z* 向切入工件
N80 X=R5	*X* 向进刀
N90 G03 I=-R5	铣削整圆
N100 R1=R1+0.1	每次抬刀量 0.1mm
N110 IF（R1＜=0）GOTOB MA	跳转条件
N120 G01 X30 Y0	
N140 RET	子程序结束

6.6.2　实例 82——曲面类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

图 6-26 所示零件外形为半椭圆球，椭圆长半轴为 35mm、短半轴为 25mm。加工时可以进行 *Z* 轴方向分层铣削，将曲面看成一串在 *Z* 向变轴的椭圆，刀具在不同高度执行直线插补加工椭圆即可。加工半椭圆球之前，先加工出长半轴为 35mm、短半轴为 25mm 的椭圆台。

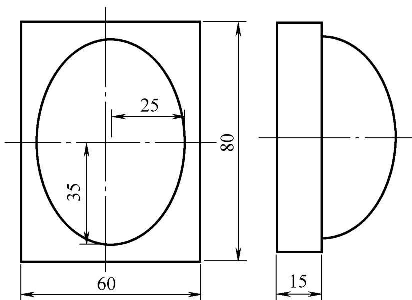


图 6-26　实例 82 零件图

毛坯外形尺寸已加工好，零件采用机用虎钳装夹，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。工件 G54 坐标原点建立在工件的对称中心处，*Z* 轴零点在

工件上表面。

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选用ϕ16 mm 立铣刀加工椭圆台。

零件毛坯尺寸为 80mm×60mm×40mm，加工材料为硬铝，硬度较低，切削力较小，切削速度可较快，切削用量的选择参见表 6-44。

表 6-44　刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	铣削椭圆台	T1	ϕ16 mm 立铣刀	800	300
2	铣削半椭圆球	T1	ϕ16 mm 立铣刀	800	300

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，数控加工参考程序见表 6-45。

表 6-45　数控加工参考程序

程序	说明
SK8201.MPF	主程序名
N10 T1 D1 M06	调用 1 号ϕ16mm 立铣刀
N20 G17 G90 G54 G00 X0 Y0 Z50	
N30 S800 M03 M08	
N40 G00 X40 Y0	
N50 G01 Z0 F80	
N60 L01 P5	调用子程序加工椭圆台
N70 G00 Z5	
N80 L02	调用子程序加工半椭圆球
N90 G74 Z1=0	
N100 M05	
N110 M09	
N120 M30	程序结束
L01.SPF	子程序名（椭圆台）
G91 G01 Z-5 F80	
N10 R1=0	
N20 R2=360	
N30 G90 G01 G41 X35 Y10 F300	
N40 G03 X25 Y0 CR=10	圆弧切入
N50 MA:R3=35 * COS(R2)	计算变量
N60 R4=25 * SIN(R2)	
N70 G01 X=R3 Y=R4	直线拟合加工椭圆
N80 R2=R2-1	
N90 IF（R2>=R1）GOTOB MA	跳转条件
N100 G03 X35 Y-10 CR=10	圆弧切除
N110 G01 G40 X40 Y0	
N120 RET	子程序结束
L02.SPF	子程序名（半椭圆球）
N10 R1=0	
N20 R2=360	

（续）

程　　序	说　　明
N30 R3=-25	设置初始下刀深度
N40 R4=8	设置铣刀半径
N50 MA1:R5=-R3 N60 R6=R5 * 35/25	设置每层椭圆长、短半轴
N70 G01 Z=R3 F80	
N80 MA2:R7=(R4+R5) * COS(R2) N90 R8=(R4+R6) * SIN(R2)	计算变量
N100 G01 X=R7 Y=R8	直线拟合加工椭圆
N110 R2=R2-1	
N120 IF（R2＞=R1）GOTOB MA2	跳转条件
N130 R3=R3+0.1	每次抬刀量 0.1mm
N140 IF（R3＜=0）GOTOB MA1	跳转条件
N150 RET	子程序结束

6.7　综合类零件编程加工（4 例）

6.7.1　实例 83——综合类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 6-27 所示薄壁零件既有内轮廓又有外轮廓，一般应先加工内轮廓，中间内、外轮廓形状相同，可以调用同一子程序，通过设置刀具半径补偿值正、负值来加工。零件采用机用虎钳装夹，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。工件 G54 坐标原点建立在工件的对称中心处，*Z* 轴零点在工件上表面。

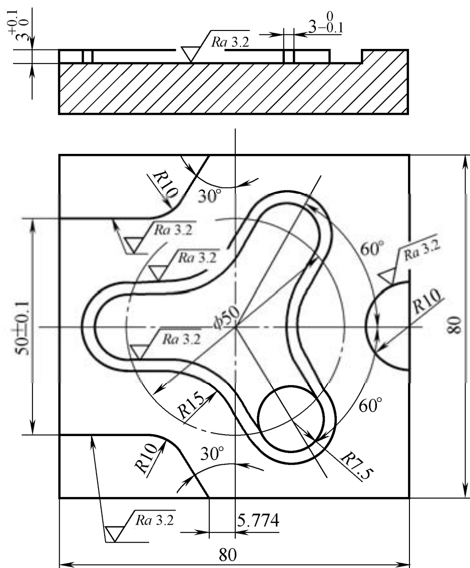


图 6-27　实例 83 零件图

内轮廓无法沿轮廓切线延长线方向切入、切出，只能沿法向切入、切出；外轮廓沿切线延长线方向切入、切出；根据刀具路径，通过 CAD 作图法，可以求出各个基点的坐标值，各基点的坐标位置如图 6-28 所示，基点的坐标值见表 6-46。

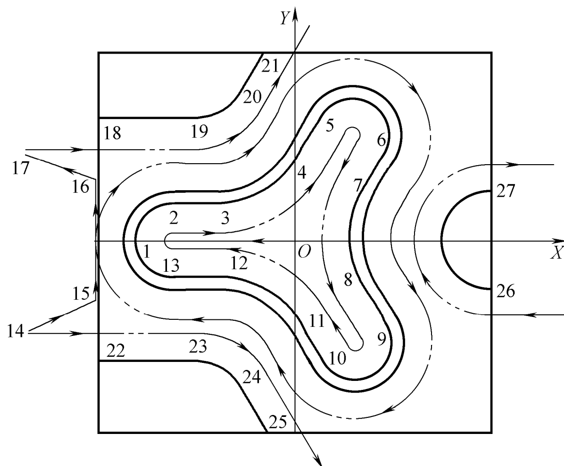


图 6-28　加工路线

表 6-46　基点的坐标值　　（单位：mm）

基　点	坐标（X，Y）	基　点	坐标（X，Y）
1	（−32.5，0）	15	（−32.5，−7.5）
2	（−25，7.5）	16	（−32.5，7.5）
3	（−15.877，7.5）	17	（−55，16）
4	（1.443，17.5）	18	（−40，25）
5	（6.005，25.401）	19	（−20.207，25）
6	（18.995，17.901）	20	（−11.547，30）
7	（14.434，10）	21	（−5.774，40）
8	（14.434，−10）	22	（−40，−25）
9	（18.995，−17.901）	23	（−20.207，−25）
10	（6.005，−25.401）	24	（−11.547，−30）
11	（1.443，−17.5）	25	（−5.774，−40）
12	（−15.877，−7.5）	26	（40，−10）
13	（−25，−7.5）	27	（40，10）
14	（−55，−16）	—	—

2. 刀具与切削用量选择

该薄壁零件既有内轮廓又有外轮廓，刀具直径的选择不仅要考虑内轮廓的最小圆弧半径，而且还要考虑两轮廓的最小间距。零件上内轮廓的最小圆弧轮廓半径为 10mm，上、下凸台与中间轮廓的最小间距为 14.5mm，右侧半圆台与中间轮廓的最小间距为 15mm，故加工中间轮廓可选用直径为 16mm 的铣刀；加工外轮廓及上、下凸台，右侧半圆台铣刀直径不能大于 14.5mm，选用ϕ12mm 铣刀。为减少刀具数量，统一用ϕ12mm 铣刀。粗加工用键槽铣刀铣削，精加工用立铣刀。

零件毛坯尺寸为 80mm×80mm×20mm，加工材料为硬铝，硬度较低，切削力较小，切削速度可较快，垂直进给时下刀深度和进给速度应较小，切削用量的选择参见表 6-47。

表 6-47 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	粗铣内、外轮廓	T1	ϕ12 mm 键槽铣刀	1000	70
2	精铣内、外轮廓	T2	ϕ12 mm 立铣刀	1200	60

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，粗加工参考程序见表 6-48；精加工时，将主程序中的主轴转速改为 S1200、进给速度改为 F60、下刀深度改为 *Z*-3、刀具 T1 改为 T2，刀补值 D1 改为 D2（D1=6.3mm、D2=6mm）、刀补值 D3 改为 D4（D3=−9.3mm、D4=−9mm），参见程序中注释，请读者自行分析。

表 6-48 数控加工参考程序（粗加工）

程序	说明
SK8301.MPF	主程序名
N10 G17 G90 G54 S1000 M03 M08	
N20 T1 D1 M06	调用 1 号ϕ12mm 键槽铣刀，D1=6.3mm （精加工 T2：ϕ12mm 立铣刀，D2=6mm）
N30 G00 X0 Y0 Z5	
N40 G01 Z-2.7 F50	下刀（精加工下刀深度为 3mm）
N50 G42 X-32.5 Y0	
N60 L10	调用子程序加工内轮廓
N70 G01 G40 X0 Y0	
N80 G00 Z5	
N90 X-55 Y-16	
N100 G01 Z-2.7 F50	下刀（精加工下刀深度为 3mm）
N110 G41 X-32.5 Y-7.5 D3	D3= −9.3mm，变为外轮廓加工
N120 G01 Y0	（精加工 D4=−9mm）
N130 L10	调用子程序加工外轮廓
N140 G01 X-32.5 Y7.5	
N150 G40 X-60 Y16	
N160 G42 X-40 Y25 F70 D1	D1=6.3mm（精加工 D2=6mm）
N170 G01 X-20.207 Y25	
N180 G03 X-11.547 Y30 CR=10	
N190 G01 X-5.774 Y40	
N200 G40 X2 Y46	
N210 G00 Z5	
N220 X-55 Y-16	
N230 G01 Z-2.7 F50	下刀（精加工下刀深度为 3mm）
N240 G41 X-40 Y-25 F70 D1	D1=6.3mm（精加工 D2=6mm）
N250 X-20.207 Y-25	
N260 G02 X-11.574 Y-30 CR=10	
N270 G01 X-5.774 Y-40	
N280 G40 X2 Y-46	
N290 G00 Z5	
N300 G41 X50 Y-10 D1	D1=6.3mm（精加工 D2=6mm）
N310 G01 Z-2.7 F50	下刀（精加工下刀深度为 3mm）
N320 X40 Y-10 F70	
N330 G02 X40 Y10 CR=10	
N340 G01 Y15	
N350 G00 Z5	
N360 G40 X0 Y0	
N370 N170 G00 Z100	

（续）

程　序	说　明
N380 M05 M09	
N390 M30	程序结束
L10.SPF	子程序名（环形轮廓）
N10 G02 X-25 Y7.5 CR=7.5 F70	
N20 G01 X-15.877	
N30 G03 X1.443 Y17.5 CR=15	
N40 G01 X6.005 Y25.401	
N50 G02 X18.995 Y17.901 CR=7.5	
N60 G01 X14.434 Y10	
N70 G03 X-14.434 Y-10 CR=15	
N80 G01 X18.995 Y-17.901	
N90 G02 X6.005 Y-25.401 CR=7.5	
N100 G01 X1.443 Y-17.5	
N110 G03 X-15.877 Y-7.5 CR=15	
N120 G01 X-25 Y-7.5	
N130 G02 X-32.5 Y0 CR=7.5	
N140 RET	子程序结束

6.7.2　实例 84——综合类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

图 6-29 零件为一个封闭内轮廓，无法采用立铣刀直接进行加工，可先预钻出 5 个 ϕ11.8mm 孔，作为铰孔前的粗加工，同时作为内轮廓加工的工艺孔。零件采用机用虎钳装夹，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。工件 G54 坐标原点建立在工件的对称中心处，*Z* 轴零点在工件上表面。

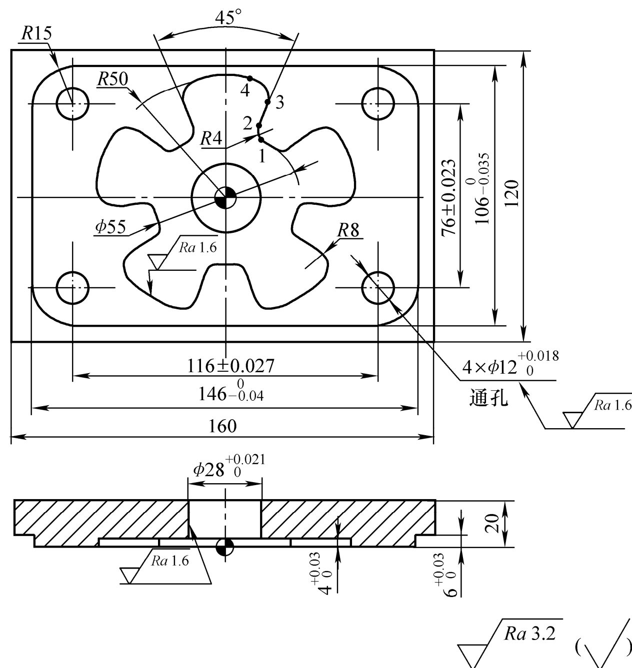


图 6-29　实例 84 零件图

根据零件图形及尺寸，通过 CAD 作图法，可以求出各个基点的坐标值，各基点的坐标位置如图 6-29 所示，基点的坐标值见表 6-49。

表 6-49 基点的坐标值 （单位：mm）

基 点	坐标（X，Y）	基 点	坐标（X，Y）
1	（13.665，23.865）	3	（15.778，38.093）
2	（11.957，28.867）	4	（9.985，48.993）

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，铣削外轮廓、内轮廓选用ϕ12 mm 立铣刀；加工 4 个通孔选用ϕ11.8 mm 麻花钻和ϕ12H7mm 铰刀各一把；中心孔加工选用ϕ25mm 麻花钻、ϕ 27.5mm 粗镗刀和ϕ28mm 精镗刀各一把。

零件毛坯尺寸为 160mm×120mm×20mm，加工材料为 45 钢，硬度较高，切削速度不可太快，切削用量的选择参见表 6-50。

表 6-50 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	铣削外轮廓	T1	ϕ12 mm 立铣刀	600	100
2	铣削内轮廓	T1	ϕ12 mm 立铣刀	600	100
3	钻孔	T2	ϕ11.8 mm 麻花钻	550	80
4	铰孔	T3	ϕ12 H7 铰刀	200	40
5	扩孔	T4	ϕ25 mm 麻花钻	350	40
6	粗镗孔	T5	ϕ27.5 mm 粗镗刀	850	80
7	精镗孔	T6	ϕ28 mm 精镗刀	1000	40

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，数控加工参考程序见表 6-51、表 6-52。

表 6-51 数控加工参考程序（外轮廓及内轮廓）

程 序	说 明
SK8401.MPF	主程序名（外轮廓及内轮廓）
N10 G90 G94 G40 G54 G71	
N20 T1 D1	调用 1 号ϕ12mm 立铣刀
N30 G74 Z1=0	
N40 G90 G00 X-90 Y-70	
N50 M03 S600 F100	
N60 Z10 M08	
N70 L1	加工外轮廓
N80 G00 Z10	
N90 X0 Y0	
N100 G01 Z-4	
N110 R1=0	旋转角度赋初值
N120 MMA:ROT RPL = R1	坐标旋转
N130 L2	加工内轮廓
N140 ROT	取消坐标旋转
N150 R1= R1+72	旋转角度每次增加 72°
N160 IF R1<= 350 GOTO MMA	条件判断

（续）

程　　序	说　　明
N170 G74 Z1=0	
N180 M05 M09	
N190 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（外轮廓）
N10 G01 Z-6 F100	
N20 G41 G01 X-73 Y-53	
N30 G01 Y38	
N40 G02 X-58 Y53 CR=15	
N50 G01 X58	
N60 G02 X73 Y38 CR=15	
N70 G01 Y-38	
N80 G02 X58 Y-53 CR=15	
N90 G01 X-58 Y-53	
N100 G02 X-73 Y-38 CR=15	
N110 G40 G01 X-80 Y-70	
N120 RET	子程序结束
L2.SPF	子程序名（内轮廓）
N10 G41 G01 X23.82 Y13.75	圆弧延长线上建立刀补
N20 G03 X13.665 Y23.865 CR=27.5	
N30 G02 X11.957 Y28.867 CR=4	
N40 G01 X15.778 Y38.093	
N50 G03 X9.985 Y48.993 CR=8	
N60 X-9.985 CR=50	
N70 X-15.778 Y38.093 CR=8	
N80 G01 X-11.957 Y28.867	
N90 G02 X-13.665 Y23.865 CR=4	
N100 G40 G01 X0 Y0	
N110 RET	子程序结束

表 6-52　数控加工参考程序（孔加工）

程　　序	说　　明
SK8402.MPF	主程序名（孔加工）
N10 G90 G94 G40 G54 G71	
N20 G74 Z1=0	
N30 T2 D1 M06	调用 2 号 ϕ11.8mm 麻花钻
N40 G00 X0 Y0	
N50 Z10 M08	
N60 M03 S600 F100	
N70 MCALL CYCLE81（10,0,2,,25）	模态调用钻孔固定循环
N80 X-58 Y38	
N90 X58	
N100 Y-38	
N110 X-58	
N120 X0 Y0	
N130 MCALL	
N140 G74 Z1=0	
N150 M05 M09	
N160 T3 D1 M06	调用 3 号 ϕ12H7 铰刀
N170 G00 X0 Y0	

（续）

程　序	说　明
N180 M03 S200	铰孔时取较低转速
N190 Z10 M08	
N200 MCALL CYCLE85（10,0,3,,25,,100,250）	模态调用铰孔固定循环
N210 X-58 Y38	
N220 X58	
N230 Y-38	
N240 X-58	
N250 MCALL	
N260 G74 Z1=0	
N270 M05 M09	
N280 T4 D1 M06	调用 4 号 ϕ25mm 麻花钻
N290 G00 X0 Y0	
N300 Z10 M08	
N310 M03 S350 F40	
N320 CYCLE83（10,0,2,,25,,5,0,0,1,1,1）	扩孔
N330 G74 Z1=0	
N340 M05 M09	
N350 T5 D1 M06	调用 5 号 ϕ27.5mm 粗镗刀
N360 G00 X0 Y0	
N370 Z10 M08	
N380 M03 S850 F80	
N390 CYCLE85（10,0,2,,25,0,80,150）	粗镗孔
N400 G74 Z1=0	
N410 M05 M09	
N420 T6 D1 M06	调用 6 号 ϕ28mm 精镗刀
N430 G00 X0 Y0	
N440 Z10 M08	
N450 M03 S1000 F40	
N460 CYCLE85（10,0,2,,25,0,40,60）	精镗孔
N470 G74 Z1=0	
N480 M05 M09	
N490 M30	程序结束

6.7.3　实例 85——综合类零件编程加工（三）

1. 零件工艺分析

图 6-30 零件为一个封闭内轮廓，无法采用立铣刀直接进行加工，可先预钻出工艺孔(孔不能超出底面平面)，再用立铣刀进行加工。零件采用机用虎钳装夹，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。工件 G54 坐标原点建立在工件的对称中心处，*Z* 轴零点在工件上表面。

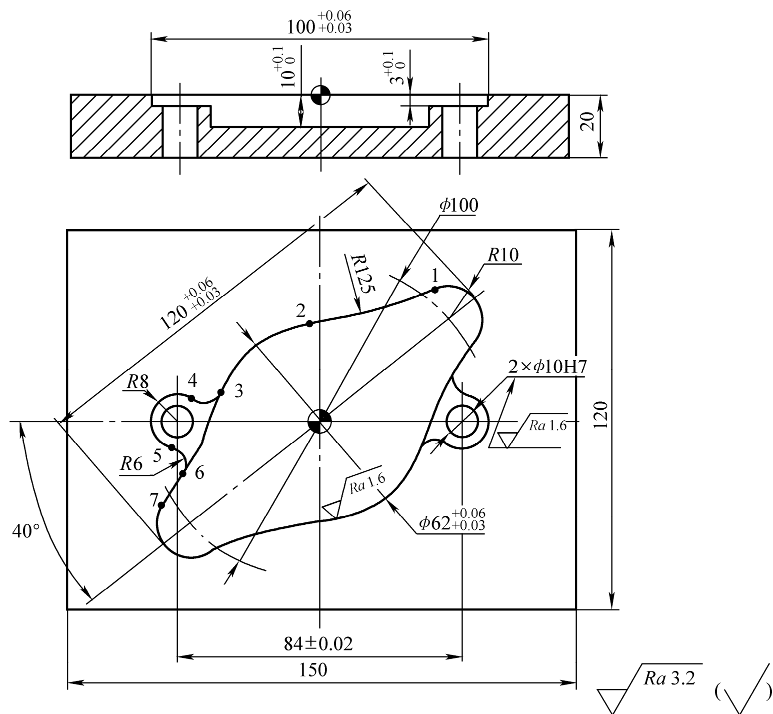


图 6-30 实例 85 零件图

根据零件图形及尺寸，通过 CAD 作图法，可以求出各个基点的坐标值，各基点的坐标位置如图 6-30 所示，基点的坐标值见表 6-53。

表 6-53 基点的坐标值 （单位：mm）

基　点	坐标（X，Y）	基　点	坐标（X，Y）
1	（34.16，41.24）	5	（−44.04，−7.73）
2	（−3.51，30.80）	6	（−40.33，−16.45）
3	（−29.29，10.14）	7	（−46.54，−26.48）
4	（−37.98，6.92）	—	—

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，选用ϕ12 mm 立铣刀加工内型腔、耳朵内轮廓，孔加工选用ϕ9.8mm 麻花钻和ϕ10 H7 铰刀各一把。

零件毛坯尺寸为 150mm×120mm×20mm，加工材料为 45 钢，硬度较高，切削速度不可太快，切削用量的选择参见表 6-54。

表 6-54 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	铣削内型腔	T1	ϕ12 mm 立铣刀	600	100
2	铣削耳朵内轮廓	T1	ϕ12 mm 立铣刀	600	100
3	钻孔	T2	ϕ9.8 mm 麻花钻	650	100
4	铰孔	T3	ϕ10H7 铰刀	200	40

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，数控加工参考程序见表 6-55、表 6-56。

表 6-55 数控加工参考程序（内型腔及耳朵内轮廓）

程 序	说 明
SK8501.MPF	主程序名（内型腔及耳朵内轮廓）
N10 G90 G94 G40 G54 G71	
N20 T1 D1	
N30 G74 Z1=0	
N40 G90 G00 X0 Y0	
N50 M03 S600	
N60 Z10 M08	
N70 L1	
N80 L2	
N90 G74 Z1=0	
N100 M05 M09	
N110 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（内型腔）
N10 G01 Z-10 F100	
N20 G41 G01 X3.51 Y-30.8	
N30 G03 X29.94 Y-10.14 CR=31	
N40 G02 X46.54 Y26.48 CR=125	
N50 G03 X34.16 Y41.24 CR=10	
N60 G02 X-3.51 Y30.8 CR=125	
N70 G03 X-29.29 Y10.14 CR=31	
N80 G02 X-46.54 Y-26.48 CR=125	
N90 G03 X-34.16 Y-41.24 CR=10	
N100 G02 X3.51 Y-30.8 CR=125	
N110 G40 G01 X0 Y0	
N120 RET	子程序结束
L2.SPF	子程序名（耳朵内轮廓）
N10 G01 Z-3 F100	
N20 G41 G01 X29.94 Y-10.14	
N30 G02 X37.98 Y-6.92 CR=6	
N40 G03 X44.043 Y7.734 CR=-8	
N50 G02 X40.33 Y16.45 CR=6	
N60 G40 G01 X0 Y0	
N70 G41 G01 X-29.29 Y10.14	
N80 G02 X-37.98 Y6.92 CR=6	
N90 G03 X-44.04 Y-7.73 CR=-8	
N100 G02 X-40.33 Y-16.45 CR=6	
N110 G40 G01 X0 Y0	
N120 RET	子程序结束

表 6-56 数控加工参考程序（孔加工）

程　　序	说　　明
SK8502.MPF	主程序名（孔加工）
N10 G90 G94 G40 G54 G71	
N20 G74 Z1=0	
N30 T3 D1 M06	调用 3 号ϕ9.8mm 麻花钻
N40 G00 X0 Y0	
N50 Z10 M08	
N60 M03 S650 F100	
N70 MCALL CYCLE81（10,0,2,,25）	钻孔
N80 X42 Y0	
N90 X-42	
N100 MCALL	
N110 G74 Z1=0	
N120 M05 M09	
N130 T4 D1 M06	调用 4 号ϕ10H7 铰刀
N140 G00 X0 Y0	
N150 M03 S200	铰孔时取较低转速
N160 Z10 M08	
N170 MCALL CYCLE85（10,0,3,,25,,100,250）	
N180 X42 Y0	
N190 X-42	
N200 MCALL	
N210 G74 Z1=0	
N220 M05	
N230 M30	程序结束

6.7.4 实例 86——综合类零件编程加工（四）

1. 零件工艺分析

图 6-31 零件加工时先加工外轮廓，再加工内轮廓，最后加工孔。加工外轮廓时，右边两个凸台用坐标旋转加工。加工圆弧槽内轮廓时，可用键槽铣刀直接加工，如果选用立铣刀进行，则要先钻工艺孔。

零件采用机用虎钳装夹，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。工件 G54 坐标原点建立在工件的对称中心处，Z 轴零点在工件上表面。

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，加工外轮廓选用ϕ16 mm 立铣刀，加工内轮廓及右侧键槽选用ϕ12 mm 立铣刀，孔加工采用钻孔+扩孔+粗镗+精镗的加工方案，刀具的选择见表 6-57。

零件毛坯尺寸为 150mm×120mm×20mm，加工材料为 45 钢，硬度较高，切削速度不可太快，切削用量的选择参见表 6-57。

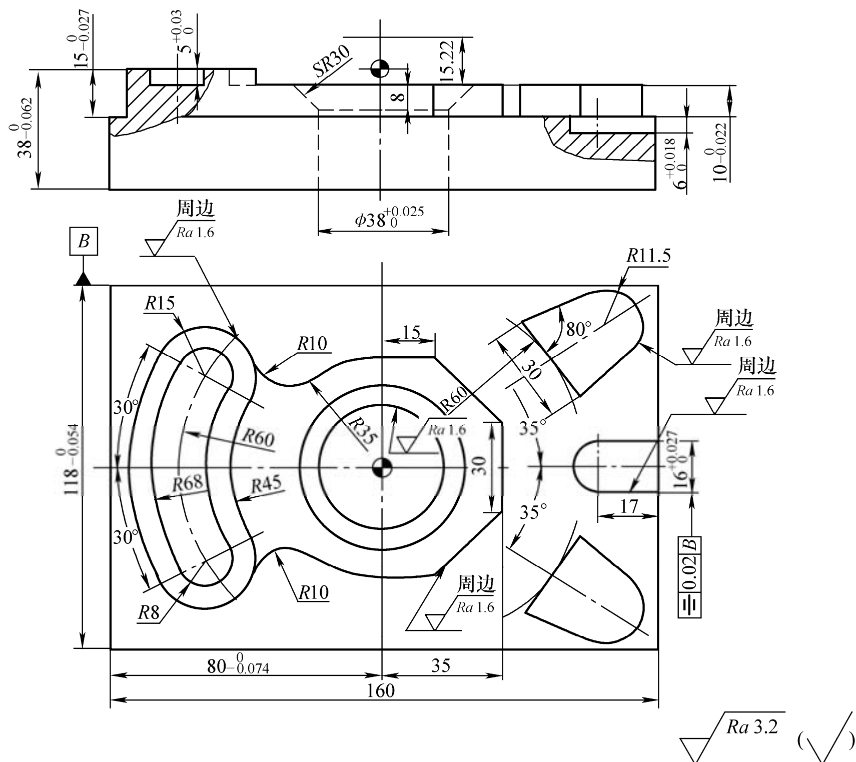


图 6-31　实例 86 零件图

表 6-57　刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	铣削外轮廓	T1	φ16 mm 立铣刀	600	100
2	铣削内轮廓	T2	φ12 mm 立铣刀	600	100
3	铣削键槽	T2	φ12 mm 立铣刀	600	100
4	钻孔	T3	φ20 mm 麻花钻	350	40
5	扩孔	T4	φ35 mm 麻花钻	150	30
6	粗镗孔	T5	φ37.5 mm 粗镗刀	850	80
7	精镗孔	T6	φ38 mm 精镗刀	1000	40
8	倒圆角	T1	φ16 mm 立铣刀	800	200

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，数控加工参考程序见表 6-58、表 6-59。

表 6-58　数控加工参考程序（内外轮廓及键槽）

程序	说明
SK8601.MPF	主程序名（内外轮廓及键槽）
N10 G90 G94 G40 G54 G71	
N20 T1 D1 M06	调用 1 号φ16mm 立铣刀加工外轮廓
N30 G74 Z1=0	
N40 G90 G00 X30 Y-80	
N50 M03 S600	

（续）

程　　序	说　　明
N60 Z10 M08	
N70 G01 Z0 F100	
N80 L1 P2	调用子程序加工中心处外轮廓
N90 G00 Z5	
N100 X-100 Y80	
N110 L2	调用子程序加工轮廓上的圆弧凸台
N120 G00 Z10	
N130 X90 Y0	
N140 G01 Z0	
N150 L3 P2	调用子程序加工右下角凸台
N160 G00 Z10	
N170 X40 Y70	
N180 ROT RPL = 70	角度逆时针旋转 70°
N190 L3 P2	调用子程序加工右上角凸台
N200 ROT	取消旋转
N210 G74 Z1=0	
N220 M05 M09	
N230 T2 D1 M06	调用 2 号 ϕ12mm 键铣刀加工内轮廓及键槽
N240 G90 G00 X-52 Y-30	
N250 M03 S600	
N260 Z10 M08	
N270 G01 Z-5 F100	加工内圆弧槽
N280 G41 G01 X-45.03 Y-26	
N290 G02 Y26 CR=52	
N300 G03 X-58.89 Y34 CR=8	
N310 G03 Y-34 CR=68	
N320 G03 X-45.03 Y-26 CR=8	
N330 G40 G01 X-52 Y-30	
N340 G00 Z10	
N350 X90 Y0	
N360 G01 Z-20 F100	加工右侧键槽
N370 G41 G01 Y8	
N380 X63	
N390 G03 Y-8 CR=8	
N400 G01 X90	
N410 G74 Z1=0	
N420 M05 M09	
N430 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（轮廓加工）
N10 G91 G01 Z-7.5 F100	
N20 G90 G41 G01 X20 Y-35	
N30 X0	
N40 G02 X-21.455 Y-27.652 CR=35	
N50 G03 X-37.336 Y-33.331 CR=10	
N60 G02 X-64.951 Y-37.5 CR=15	
N70 Y37.5 CR=75	
N80 X-37.336 Y33.331 CR=15	
N90 G03 X-21.455 Y27.652 CR=10	
N100 G02 X0 Y35.0 CR=35	

（续）

程　　序	说　　明
N110 G01 X15 Y35	
N120 X35 Y15	
N130 Y-15	
N140 X15 Y-35	
N150 G40 G01 X30 Y-80	
N160 RET	子程序结束
L2.SPF	子程序名（圆弧凸台）
N10 G01 Z-5	
N20 G41 G01 X-64.951 Y37.5	
N30 G02 X-38.971 Y22.5 CR=15	
N40 G03 Y-22.5 CR=45	
N50 G02 X-64.951 Y-37.5 CR=15	
N60 G40 G01 X-100 Y-80	
N70 RET	子程序结束
L3.SPF	子程序名（右边两个凸台）
N10 G91 G01 Z-7.5	
N20 G90 G41 G01 X57.747 Y-22.123	
N30 X72.711 Y-37.087	
N40 G02 X59.719 Y-55.641 CR=11.5	
N50 G01 X40.54 Y-46.698	
N60 X57.747 Y-22.123	
N70 G40 G01 Y-10.0	
N80 X90.0	
N90 RET	子程序结束

表 6-59　数控加工参考程序（孔加工）

程　　序	说　　明
SK8602.MPF	主程序名（孔加工）
N10 G90 G94 G40 G54 G71	
N20 G74 Z1=0	
N30 T3 D1 M06	调用 3 号 ϕ20mm 麻花钻
N40 G00 X0 Y0	
N50 Z10 M08	
N60 M03 S350 F40	
N70 CYCLE83（10,0,2,,40,,5,0,0,1,1,1）	钻孔
N80 G74 Z1=0	
N90 M05 M09	
N100 T4 D1 M06	调用 4 号 ϕ35mm 麻花钻
N110 G00 X0 Y0	
N120 Z10 M08	
N130 M03 S150 F30	
N140 CYCLE83（10,0,2,,40,,5,0,0,1,1,1）	扩孔
N150 G74 Z1=0	
N160 M05 M09	
N170 T5 D1 M06	调用 5 号 ϕ37.5mm 粗镗刀
N180 G00 X0 Y0	
N190 Z10 M08	

（续）

程　　序	说　　明
N200 M03 S850 F80	
N210 CYCLE85（10,0,2,,40,0,80,150）	粗镗孔
N220 G74 Z1=0	
N230 M05 M09	
N240 T6 D1 M06	调用 6 号 ϕ38mm 精镗刀
N250 G00 X0 Y0	
N260 Z10 M08	
N270 M03 S1000 F40	
N280 CYCLE85（10,0,2,,40,0,40,60）	精镗孔
N290 G74 Z1=0	
N300 M05 M09	
N310 T1 D1 M06	调用 1 号 ϕ16mm 立铣刀倒圆角
N320 G00 X0 Y0	
N330 M03 S800	
N340 G00 Z-15	
N350 R0=-15.22	定义圆球起始点的 Z 值
N360 R1=-23.22	定义圆球终止点的 Z 值
N370 MA1:R2 = SQRT（30*30-R0*R0）	圆弧起点 X 坐标
N380 R3=R2-8	
N390 G01 X=R3 F200	
N400 Z=R0 F100	
N410 G17 G02 I=-R3 F150	整圆铣削加工
N420 R0=R0-0.04	
N430 IF R0＞=R1 GOTOB MA1	判断 Z 轴是否到终点
N440 G74 Z1=0	
N450 M05 M09	
N460 M30	程序结束

6.8　配合类零件编程加工（2 例）

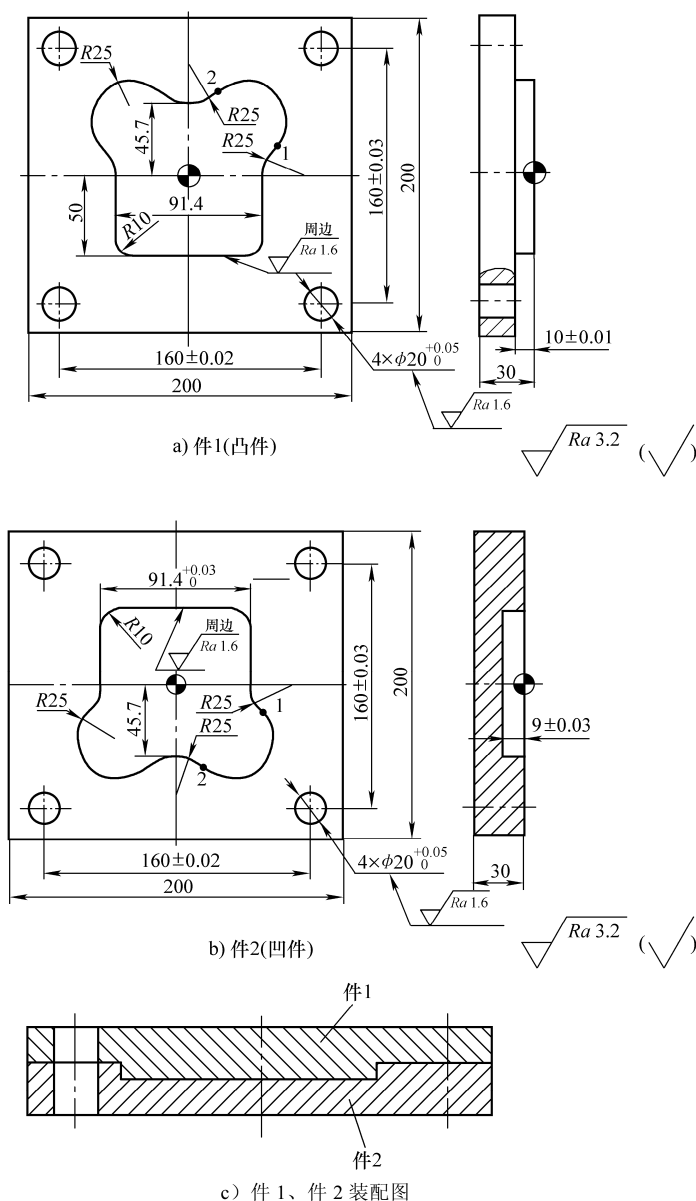
6.8.1　实例 87——配合类零件编程加工（一）

1. 零件工艺分析

图 6-32 所示配合类零件的轮廓加工没有难度，其难点在于加工后如何保证配合精度。为此，应按入体原则来保证各项加工精度，先加工凸件 1，再加工凹件 2，并在凹件 2 拆下之前进行试配，以便修整凹件 2 以达到各项配合精度。

件 1、件 2 均采用机用虎钳装夹，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。工件 G54 坐标原点建立在工件的对称中心上，Z 轴零点在工件上表面。

根据零件图形及尺寸，通过 CAD 作图法，可以求出各个基点的坐标值，各基点的坐标位置如图 6-32a、b 所示，件 1 基点坐标值见表 6-60，件 2 基点坐标值见表 6-61。



a) 件1(凸件)

b) 件2(凹件)

c）件 1、件 2 装配图

图 6-32 实例 87 零件图与装配图

表 6-60 件 1 基点坐标值 （单位：mm）

基　　点	坐标（X，Y）	基　　点	坐标（X，Y）
1	（53.03，17.69）	2	（17.68，53.03）

表 6-61 件 2 基点坐标值 （单位：mm）

基　　点	坐标（X，Y）	基　　点	坐标（X，Y）
1	（53.03，−17.69）	2	（17.68，−53.03）

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，件 1 凸台与件 2 内轮廓的加工选用ϕ16 mm 立铣刀，孔加工选用ϕ16 mm

和ϕ19.8mm 麻花钻各一把、ϕ20H7 铰刀一把。

零件加工材料为 45 钢，毛坯尺寸均为 200mm×200mm×30mm，凸件 1 切削用量的选择见表 6-62，凹件 2 略。

表 6-62　件 1 刀具及切削用量选择

操 作 序 号	工 步 内 容	刀　具　号	刀具名称及规格	切 削 用 量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	铣凸台	T1	ϕ16 mm 立铣刀	600	100
2	钻孔	T2	ϕ16 mm 麻花钻	550	80
3	扩孔	T3	ϕ19.8 mm 麻花钻	400	50
4	铰孔	T4	ϕ20H7 铰刀	200	30

3. 参考程序

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，凸件 1 的数控加工参考程序见表 6-63、表 6-64。

凹件 2 的加工程序与凸件 1 的加工程序类似，请读者自行编写。

表 6-63　件 1 数控加工参考程序（凸台）

程　　序	说　　明
SK8701.MPF	主程序名（凸台）
N10 G90 G94 G40 G54 G71	
N20 T1 D1	
N30 G74 Z1=0	
N40 G90 G00 X-120 Y-120	
N50 M03 S600	
N60 Z10 M08	
N70 L1	加工件 1 凸台
N80 G74 Z1=0	
N90 M05 M09	
N100 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（件 1 凸台加工）
N10 G01 Z -45.7 Y-50.0	轮廓延长线上切入
N20 G01 Y0.0	
N30 G03 X-53.03 Y-17.68 CR=25.0	
N40 G02 X-17.68 Y53.03 CR=25.0	
N50 G03 X17.68 Y53.03 CR=25.0	
N60 G02 X53.03 Y17.69 CR=25.0	
N70 G03 X45.70 Y0.0 CR=25.0	
N80 G01 Y-40.0	
N90 G02 X35.70 Y-50.0 CR=10.0	
N100 G01 X-35.70	
N110 G02 X-45.70 Y-40.0 CR=10.0	
N120 G40 G01 X-120.0 Y-120.0	
N130 RET	子程序结束

表 6-64 件 1 数控加工参考程序（孔加工）

程 序	说 明
SK8702.MPF	主程序名（孔加工）
N10 G90 G94 G40 G54 G71	
N20 G74 Z1=0	
N30 T2 D1 M06	调用 2 号 ϕ16mm 麻花钻
N40 G00 X0 Y0	
N50 Z10 M08	
N60 M03 S550 F80	
N70 MCALL CYCLE81（10,0,2,,35）	模态调用钻孔固定循环
N80 X-80 Y80	
N90 X80	
N100 Y-80	
N110 X-80	
N120 MCALL	取消模态调用
N130 G74 Z1=0	
N140 T3 D1 M06	调用 3 号 ϕ19.8mm 麻花钻
N150 G00 X0 Y0	
N160 Z10 M08	
N170 M03 S400 F50	
N180 MCALL CYCLE81（10,0,2,,35）	模态调用钻孔固定循环
N190 X-80 Y80	
N200 X80	
N210 Y-80	
N220 X-80	
N230 MCALL	取消模态调用
N240 G74 Z1=0	
N250 M05 M09	
N260 T4 D1 M06	调用 4 号 ϕ20H7 铰刀
N270 G00 X0 Y0	
N280 M03 S200	铰孔时取较低转速
N290 Z10 M08	
N300 MCALL CYCLE85（10,0,3,,25,,100,250）	模态调用铰孔固定循环
N310 X-80 Y80	
N320 X80	
N330 Y-80	
N340 X-80	
N350 MCALL	取消模态调用
N360 G74 Z1=0	
N370 M05	
N380 M30	程序结束

6.8.2 实例 88——配合类零件编程加工（二）

1. 零件工艺分析

图 6-33 所示薄壁配合件，凸件 1 内外轮廓相同，可以采用相似的程序来加工内外轮廓，应注意加工薄壁内轮廓所允许的刀具最大直径，当选择较小直径的铣刀时，应选择较小的

切削用量。先加工凸件 1，再加工凹件 2，并在凹件 2 拆下之前进行试配，以便修整凹件 2 以达到各项配合精度。

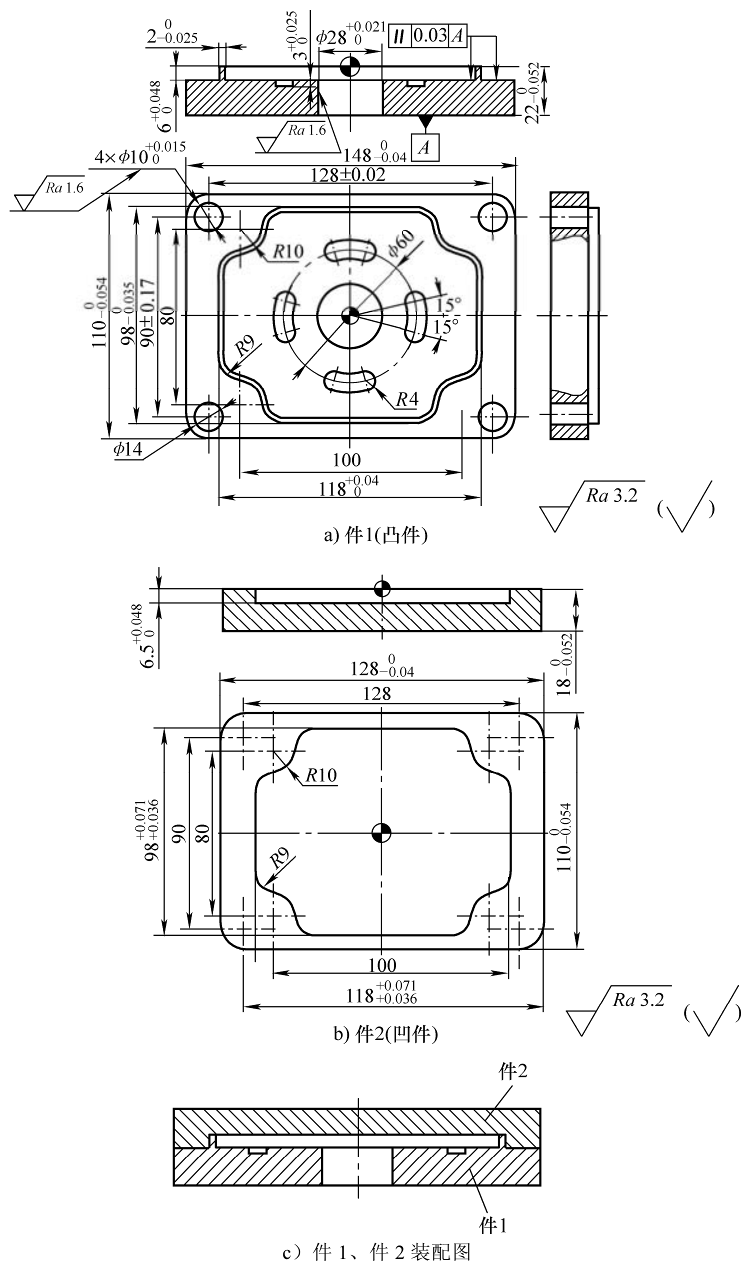


图 6-33　实例 88 零件图与装配图

件 1、件 2 均采用机用虎钳装夹，工件被加工部分要高出钳口，避免刀具与钳口发生干涉。工件 G54 坐标原点建立在工件的对称中心上，*Z* 轴零点在工件上表面。

2. 刀具与切削用量选择

根据加工要求，加工件 1 内外轮廓与件 2 内轮廓选用ϕ12mm 立铣刀；加工键槽选用ϕ8mm 键槽铣刀；加工 4 个通孔选用ϕ9.8mm 麻花钻和ϕ10H7 铰刀各一把；中心孔加工选用

ϕ25mm 麻花钻、ϕ27.5mm 粗镗刀和ϕ28mm 精镗刀各一把。

零件加工材料为 45 钢，毛坯尺寸为 148mm×110mm×22mm 和 148mm×110mm×18mm，薄壁凸件 1 切削用量的选择见表 6-65，凹件 2 略。

表 6-65 件 1 刀具及切削用量选择

操作序号	工步内容	刀具号	刀具名称及规格	切削用量	
				主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	铣削外轮廓	T1	ϕ12 mm 立铣刀	600	100
2	铣削内轮廓	T1	ϕ12 mm 立铣刀	600	100
3	铣削键槽	T2	ϕ8 mm 键槽铣刀	400	80
4	钻孔	T3	ϕ9.8 mm 麻花钻	650	100
5	铰孔	T4	ϕ10H7 铰刀	200	40
6	扩孔	T5	ϕ25 mm 麻花钻	350	40
7	粗镗孔	T6	ϕ27.5 mm 粗镗刀	850	80
8	精镗孔	T7	ϕ28 mm 精镗刀	1000	40

3. *参考程序*

在配置 SINUMERIK 802D 系统的数控铣床（加工中心）上加工，凸件 1 的数控加工参考程序见表 6-66～表 6-68。

凸件 1 薄壁处由于内外轮廓相同，可以采用相似的程序和调用同一个子程序加工，注意修改进退刀位置、刀补方向和刀具半径补偿值。

凹件 2 的加工程序与凸件 1 的加工程序类似，请读者自行编写。

表 6-66 件 1 数控加工参考程序（薄壁轮廓）

程序	说明
SK8801.MPF	主程序名（薄壁轮廓）
N10 G90 G94 G40 G54 G71	
N20 T1 D1	（加工内轮廓时，刀补值应加上薄壁厚度）
N30 G74 Z1=0	
N40 G00 X-80 Y-70	（加工内轮廓时，在ϕ28mm 孔中心位置处落刀）
N50 M03 S600	
N60 Z10 M08	
N70 L1	加工件 1 薄壁轮廓
N80 G74 Z1=0	
N90 M05 M09	
N100 M30	程序结束
L1.SPF	子程序名（件 1 薄壁轮廓加工）
N10 G01 Z-6 F100	
N20 G41 G01 X-59 Y-49	（加工内轮廓时，将 G41 改为 G42）
N30 G01 X-59 Y21	
N40 G02 X-50 Y30 CR=9	
N50 G03 X-40 Y40 CR=10	
N60 G02 X-31 Y49 CR=9	
N70 G01 X31 Y49	
N80 G02 X40 Y40 CR=9	
N90 G03 X50 Y30 CR=10	

（续）

程　　序	说　　明
N100 G02 X59 Y21 CR=9	
N110 G01 Y-21	
N120 G02 X50 Y-30 CR=9	
N130 G03 X40 Y-40 CR=10	
N140 G02 X31 Y-49 CR=9	
N150 G01 X-31 Y-49	
N160 G02 X-40 Y-40 CR=9	
N170 G03 X-50 Y-30 CR=10	
N180 G02 X-59 Y-21 CR=9	
N190 G40 G01 X-80 Y-70	（加工内轮廓时，退刀点为ϕ28mm 孔中心位置）
N200 RET	子程序结束

表 6-67　件 1 数控加工参考程序（键槽）

程　　序	说　　明
SK8802.MPF	主程序名（键槽）
N10 G90 G94 G40 G54 G71	
N20 T2 D1	调用 2 号ϕ8mm 键槽铣刀
N30 G74 Z1=0	
N40 M03 S400	
N50 G00 X28.98 Y-7.76	加工第 1 个槽
N60 Z10 M08	
N70 G01 Z-9 F80	
N80 G03 Y7.76 CR=30	
N90 G00 Z5	
N100 G00 X7.76 Y28.98	加工第 2 个槽
N110 G01 Z-9 F80	
N120 G03 X-7.76 CR=30	
N130 G00 Z5	
N140 G00 X-28.98 Y7.76	加工第 3 个槽
N150 G01 Z-9 F80	
N160 G03 Y-7.76 CR=30	
N170 G00 Z5	
N180 G00 X-7.76 Y-28.98	加工第 4 个槽
N190 G01 Z-9 F80	
N200 G03 X7.76 CR=30	
N210 G00 Z5	
N220 G74 Z1=0	
N230 M05 M09	
N240 M30	程序结束

表 6-68　件 1 数控加工参考程序（孔加工）

程　　序	说　　明
SK8803.MPF	主程序名（孔加工）
N10 G90 G94 G40 G54 G71	
N20 G74 Z1=0	
N30 T3 D1 M06	调用 3 号ϕ9.8mm 麻花钻
N40 G00 X0 Y0	
N50 Z10 M08	
N60 M03 S650 F100	
N70 MCALL CYCLE81（10,0,2,,25）	模态调用钻孔固定循环
N80 X-64 Y45	

（续）

程　　序	说　　明
N90 X64	
N100 Y-45	
N110 X-64	
N120 X0 Y0	
N130 MCALL	
N140 G74 Z1=0	
N150 M05 M09	
N160 T4 D1 M06	调用 4 号 ϕ10H7 铰刀
N170 G00 X0 Y0	
N180 M03 S200	铰孔时取较低转速
N190 Z10 M08	
N200 MCALL CYCLE85（10,0,3,,25,,100,250）	模态调用铰孔固定循环
N210 X-64 Y45	
N220 X64	
N230 Y-45	
N240 X-64	
N250 MCALL	
N260 G74 Z1=0	
N270 M05 M09	
N280 T5 D1 M06	调用 5 号 ϕ25mm 麻花钻
N290 G00 X0 Y0	
N300 Z10 M08	
N310 M03 S350 F40	
N320 CYCLE83（10,0,2,,25,,5,0,0,1,1,1）	扩孔
N330 G74 Z1=0	
N340 M05 M09	
N350 T6 D1 M06	调用 6 号 ϕ27.5mm 粗镗刀
N360 G00 X0 Y0	
N370 Z10 M08	
N380 M03 S850 F80	
N390 CYCLE85（10,0,2,,25,0,80,150）	粗镗孔
N400 G74 Z1=0	
N410 M05 M09	
N420 T7 D1 M06	调用 7 号 ϕ28mm 精镗刀
N430 G00 X0 Y0	
N440 Z10 M08	
N450 M03 S1000 F40	
N460 CYCLE85（10,0,2,,25,0,40,60）	精镗孔
N470 G74 Z1=0	
N480 M05 M09	
N490 M30	程序结束

第 3 篇

数控电火花线切割机床编程实例

- 数控电火花线切割机床编程基础
- 数控电火花线切割机床编程实例

第 7 章 数控电火花线切割机床编程基础

7.1 数控电火花线切割机床概述

7.1.1 数控电火花线切割加工的特点

电火花加工（Electrical Discharge Machining，EDM）又称电加工，是基于电火花腐蚀原理，在工具电极与工件电极相互靠近时，极间形成脉冲性火花放电，在电火花通道中产生瞬时高温，使金属局部熔化，甚至汽化，从而将金属蚀除下来。电火花加工属于特种加工的技术范畴，是先进制造技术的一个重要组成部分。

电火花线切割加工是电火花加工的一个分支，它用一根移动着的导线（电极丝）作为工具电极对工件进行切割。在电火花线切割加工中，工件和电极丝的相对运动是由数字控制实现的，故又称为数控电火花线切割加工，简称线切割加工。

数控电火花线切割加工工件的形状是由数控系统控制工作台相对于电极丝的运行轨迹决定的，因此不需制造专用的电极，就可以加工形状复杂的各种通透型零件。其加工原理如图 7-1 所示，工件连接脉冲电源的正极，电极丝接负极，电极丝在储丝筒的作用下作正反向交替运动，电极丝和工件之间产生很强的脉冲电场，在机床数控系统的控制下，工作台相对电极丝按预定的程序运动，从而切割出需要的工件形状。这类机床主要适于切割淬火钢、硬质合金等金属材料，特别适于一般金属切削机床难以加工的细缝槽或形状复杂的零件，在模具行业的应用尤为广泛。

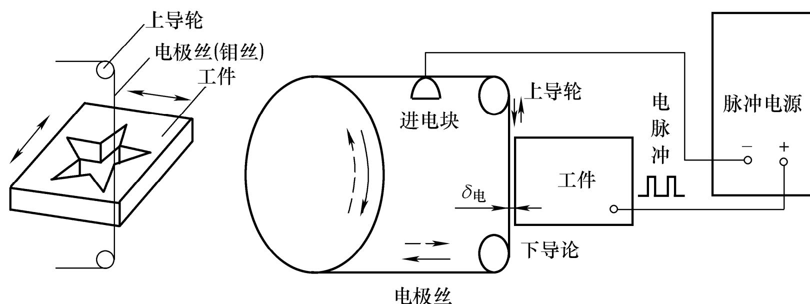


图 7-1　数控电火花线切割加工原理

数控电火花线切割加工有以下特点：

1）由于加工表面的轮廓是由CNC控制的复合运动所获得，所以可切割复杂表面。

2）可加工细微的几何形状，如窄缝和很小的内角半径。电极丝在加工中不断运动，使单位长度金属丝损耗较少，对加工精度影响小。

3）无需特定形状的工具电极，节省了生产成本，减少了准备工时。

4）在电参数相同的情况下，比穿孔加工生产率高，自动化程度高，操作使用方便。

5）加工同样的工件，其总蚀除量少，材料利用率高，对加工贵重金属有着重要意义。

6）线切割加工的缺点是不能加工不通孔类零件和阶梯成形表面。

7.1.2 数控电火花线切割机床的分类与组成

1. 数控电火花线切割机床的分类

数控电火花线切割机床可按多种方法进行分类，通常按电极丝的走丝速度分成快速走丝电火花线切割机床（WEDM HS）与慢速走丝电火花线切割机床（WEDM LS）。

（1）快速走丝电火花线切割机床　快速走丝电火花线切割机床的电极丝做高速往复运动，一般走丝速度为8～10m/s，是我国独创的电火花线切割加工模式。快速走丝电火花线切割机床上运动的电极丝能够双向往返运行，重复使用，直至断丝为止。电极丝材料常用直径为0.10～0.30mm的钼丝。

工作液通常采用乳化液。快速走丝电火花线切割机床结构简单、价格便宜、生产率高，但由于运行速度快，工作时机床振动较大。钼丝和导轮的损耗快，加工精度和表面质量不如慢走丝电火花线切割机床，其加工精度一般为0.01～0.02mm，表面粗糙度值 *Ra* 为1.25～2.5μm。

（2）慢速走丝电火花线切割机床　慢速走丝电火花线切割机床走丝速度低于0.2m/s，常采用黄铜丝（有时也用纯铜、钨、钼和各种合金的涂覆线）作为电极丝，铜丝直径通常为0.10～0.35mm。电极丝仅从单方向通过加工间隙，不重复使用，避免了因电极丝的损耗而降低加工精度。同时由于走丝速度慢，机床及电极丝的振动小，因此加工过程平稳，加工精度高，可达0.005mm，表面粗糙度值小于等于 *Ra*0.32μm。

慢速走丝电火花线切割机床的工作液一般采用去离子水、煤油等，生产率较高。

慢速走丝电火花线切割机床主要由日本、瑞士等国生产，目前国内有少数企业引进国外先进技术，与外企合作生产慢速走丝电火花线切割机床。

2. 数控电火花线切割机床的型号示例

数控电火花线切割机床型号中的基本参数代号均用机床工作台面宽度的1/10表示。如图7-2所示，D表示电加工机床（该机床为数控电加工机床，则在D后加K，即DK）；77表示快走丝电火花线切割机床；25表示机床工作台的宽度为250mm。

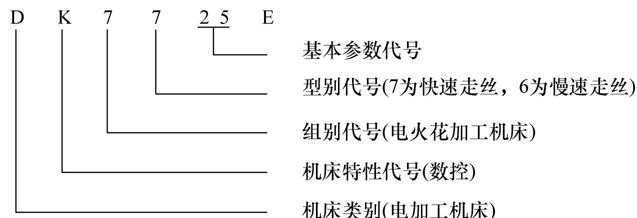


图7-2　数控电火花线切割机床型号

3. 数控电火花线切割机床的基本组成

如图 7-3 所示，数控电火花线切割机床主要由机床本体、脉冲电源、数控装置和工作液循环系统组成。

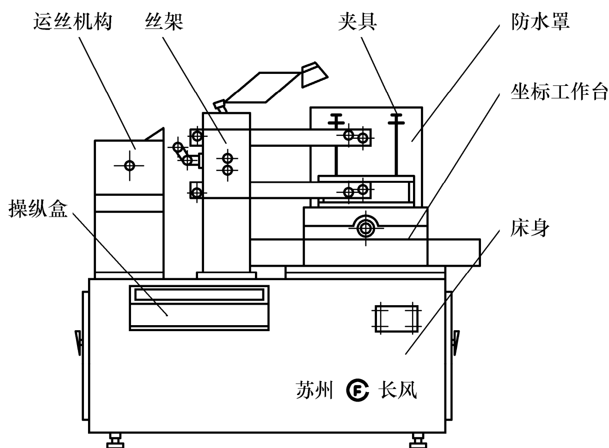


图 7-3 数控电火花线切割机床结构

（1）机床本体 机床本体主要由床身、工作台、运丝机构和丝架等组成。

1）床身。床身是支撑和固定工作台、运丝机构等的基体。因此，床身应有一定的刚度和强度，一般采用箱体式结构。床身里面安装有机床电气系统、脉冲电源、工作液循环系统等元器件。

2）工作台。目前在数控电火花线切割机床上采用的是坐标工作台，大多为 X、Y 方向线性运动。

不论是哪种控制方式，电火花线切割机床最终都是通过坐标工作台与丝架的相对运动来完成零件的加工的。坐标工作台应具有很高的坐标精度和运动精度，且要求运动灵敏、轻巧，一般采用“十”字滑板、滚珠导轨。传动丝杠和螺母之间必须消除间隙，以保证滑板的运动精度和灵敏度。

3）运丝机构。在快走丝电火花线切割加工时，电极丝需要不断地往复运动，这个运动是由运丝机构来完成的。最常见的运丝机构是单滚筒式，电极丝绕在储丝筒上，并由储丝筒做周期性的正反旋转使电极丝高速往返运动。储丝筒轴向往复运动的换向及行程长短由无触点接近开关及其撞杆控制，调整撞杆的位置即可调整行程的长短。

4）丝架。丝架与运丝机构一起构成电极丝的运动系统。它的功能主要是对电极丝起支撑作用，并使电极丝工作部分与工作台平面保持垂直。为获得良好的工艺效果，上、下丝架之间的距离应尽可能小。

为实现锥度加工，最常见的方法是在上丝架的上导轮上加两个小步进电动机，使上丝架的导轮做微量坐标移动（又称 U、V 轴移动），其运动轨迹由计算机控制。

（2）脉冲电源 电火花加工用的脉冲电源的作用是把普通 220V（或 380V）、50Hz 的交流电流转换成频率较高的单向脉冲电流，以使电极间隙产生火花放电来蚀除金属。由于受表面质量和电极丝允许承载电流的限制，线切割加工脉冲电源的脉宽较窄（2～60μs），单个脉冲能量、平均电流（1～5A）一般较小，所以线切割加工采用正极性加工。

（3）数控装置 数控装置由数控系统和硬件组成，数控系统在数控电火花线切割加工

中起着重要作用，具体表现在以下两个方面：

1）轨迹控制。它精确地控制电极丝相对于工件的运动轨迹，使零件获得所需的形状和尺寸。

2）加工控制。它能根据放电间隙的大小与放电状态控制进给速度，使之与工件材料的蚀除速度相平衡，保持正常的稳定切割加工。

目前绝大多数机床采用数字程序控制，并且普遍采用自动编程技术，操作者首先在计算机屏幕上画出要加工的零件图形，线切割专用软件（如 YH 软件、北航海尔的 CAXA 线切割软件）会自动将图形转化为 ISO 代码或 3B 代码。

（4）工作液循环系统　工作液循环与过滤装置是数控电火花线切割机床不可缺少的一部分，其主要包括工作液箱、工作液泵、流量控制阀、进液管、回液管、过滤网罩等。工作液的作用是及时地从加工区域中排除电蚀产物，并连续充分供给清洁的工作液，以保证脉冲放电过程稳定而顺利的进行。目前绝大部分快走丝电火花线切割机床的工作液是专用乳化液，乳化液种类繁多，大家可根据相关资料来正确选用。

7.2　数控电火花线切割加工工艺基本知识

7.2.1　工件的装夹与调整

1. 工件材料及毛坯

线切割加工常用于模具零件的加工，模具零件常常采用锻造毛坯，其加工一般在淬火与回火后进行。由于受材料淬透性的影响，当大面积去除金属和切断加工时，会使材料内部残余应力的相对平衡状态遭到破坏而产生变形，影响加工精度，甚至在切割过程中造成材料突然开裂。为减少这种影响，除在设计时应选用锻造性能好、淬透性好、热处理变形小的合金工具钢（如 Cr12、Cr12MoV、CrWMn）作材料外，对模具毛坯锻造及热处理工艺也应正确进行。

2. 工件的装夹

装夹工件时，必须保证工件的切割部位位于机床工作台纵向、横向进给的允许范围之内，避免超出极限。同时应考虑切割时电极丝的运动空间。夹具应尽可能选择通用（或标准）件，应便于装夹，便于协调工件和机床的尺寸关系。在加工大型工件时，要特别注意工件的定位方式，尤其在加工快结束时，工件的变形、重力的作用会使电极丝被夹紧，影响加工。

（1）悬臂式装夹　图 7-4 所示是悬臂方式装夹工件，这种方式装夹方便、通用性强。但由于工件一端悬伸，易出现切割表面与工件上、下平面间的垂直度误差。仅用于加工要求不高或悬臂较短的情况。

（2）两端支撑方式装夹　图 7-5 所示是两端支撑方式装夹工件，这种方式装夹方便、稳定，定位精度高，但不适于装夹较大的零件。

（3）桥式支撑方式装夹　这种方式是在通用夹具上放置垫铁后再装夹工件，如图 7-6 所示。这种方式装夹方便，对大、中、小型工件都能采用。

（4）板式支撑方式装夹　图 7-7 所示是板式支撑方式装夹工件。根据常用的工件形状和尺寸，采用有通孔的支撑板装夹工件。这种方式装夹精度高，但通用性差。

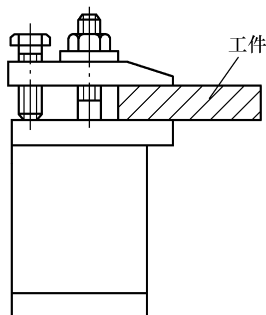


图 7-4　悬臂方式装夹工件

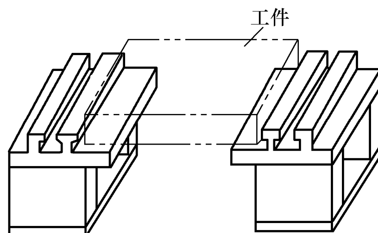


图 7-5　两端支撑方式装夹

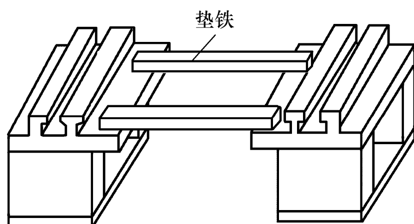


图 7-6　桥式支撑方式装夹

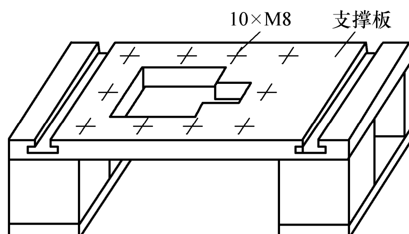


图 7-7　板式支撑方式装夹

3. **工件的调整**

采用以上方式装夹工件，还必须配合找正法进行调整，方能使工件的定位基准面分别与机床的工作台面和工作台的进给方向 X、Y 保持平行，以保证所切割的表面与基准面之间的相对位置精度。常用的找正方法有：

（1）用指示表找正　如图 7-8 所示，用磁力表架将指示表固定在丝架或其他位置上，指示表的测量头与工件基面接触，往复移动工作台，按指示表指示值调整工件的位置，直至指示表指针的偏摆范围达到所要求的数值。找正应在相互垂直的三个方向上进行。

（2）划线法找正　工件的切割图形与定位基准之间的相互位置精度要求不高时，可采用划线法找正，如图 7-9 所示。利用固定在丝架上的划针对准工件上划出的基准线，往复移动工作台，目测划针、基准间的偏离情况，将工件调整到正确位置。

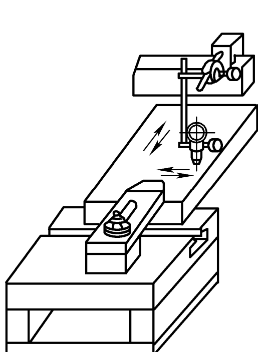


图 7-8　用指示表找正

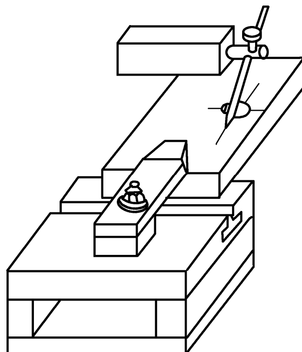


图 7-9　划线法找正

7.2.2　数控电火花线切割加工工艺

数控电火花线切割加工一般作为工件（尤其是模具）加工的最后工序。要达到加工零

件的精度及表面粗糙度要求，应合理控制线切割加工时的各种工艺参数（电参数、切割速度、工件装夹等），同时应安排好零件的工艺路线及线切割加工前的准备加工。一般产品的数控电火花线切割加工工艺准备和工艺过程如图 7-10 所示。

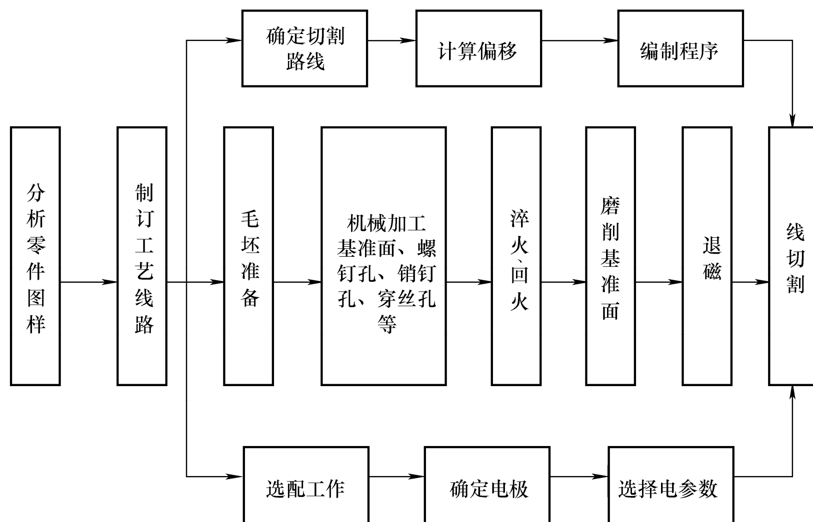


图 7-10 数控电火花线切割加工的工艺准备和工艺过程

1. **电加工参数的选择**

线切割加工一般都采用晶体管高频脉冲电源，用单个脉冲能量小、脉冲宽度窄、频率高的脉冲参数进行正极性加工。单个脉冲能量大小，主要由脉冲宽度、峰值电流、加工幅值电压决定。加工电流是指通过加工区的电流平均值，脉冲宽度是指脉冲放电时脉冲电流持续的时间，峰值电流是指放电加工时的脉冲电流峰值，加工幅值电压是指放电加工时脉冲电压的峰值。

正确选择脉冲电源加工参数，可以提高加工工艺指标和加工的稳定性。精加工时，应选用较小的加工电流和小的单个脉冲能量，可获得加工工件较低的表面粗糙度值。而粗加工时，应选用较大的加工电流和大的脉冲能量，可获得较高的材料去除率（即加工生产率），但加工电流的增大受排屑条件及电极丝截面积的限制，过大的电流易引起断丝。一般情况下可大致参考表 7-1。

表 7-1 线切割加工脉冲参数的选择

<table>
<tr><th>应　　用</th><th>脉冲宽度 t_i/μs</th><th>峰值电流 I_e/A</th><th>脉冲间隔 t_0/μs</th><th>空载电压/V</th></tr>
<tr><td>快速切割或加工大厚度工件 Ra>2.5μm</td><td>20～40</td><td>大于 12</td><td rowspan="3">为实现稳定加工，一般选择 t_0/t_i=3～4 以上</td><td rowspan="3">一般为 70～90</td></tr>
<tr><td>半精加工 Ra=1.25～2.5μm</td><td>6～20</td><td>6～12</td></tr>
<tr><td>精加工 Ra<1.25μm</td><td>2～6</td><td>4.8 以下</td></tr>
</table>

注意：改变加工的电规准，必须关断脉冲电源输出。在加工过程中，一般不应改变加工电规准，否则会造成加工表面表面粗糙度不一样。

2. **机械参数的选择**

对于普通的快速走丝电火花线切割机床，其走丝速度一般都是固定不变的。进给速度的调整主要是电极丝与工件之间的间隙调整。切割加工时，进给速度和电蚀速度要协调好，

不要欠跟踪或过紧跟踪。进给速度的调整主要靠调节变频进给量，在某一具体加工条件下，只存在一个相应的最佳进给量，此时钼丝的进给速度恰好等于工件实际可能的最大蚀除速度。欠跟踪时，加工经常处于开路状态，无形中降低了生产率，且电流不稳定，容易造成断丝；过紧跟踪时，容易造成短路，也会降低材料去除率。一般调节变频进给，使加工电流为短路电流的 0.85 左右，就可保证为最佳工作状态，即此时变频进给速度最合理、加工最稳定、切割速度最快。表 7-2 给出了根据进给状态调整变频的方法。

表 7-2　根据进给状态调整变频的方法

实频状态	进给状态	加工面状况	切割速度	电极丝	变频调整
过紧跟踪	慢而稳	焦褐色	低	略焦，老化快	应减慢进给速度
欠跟踪	忽慢忽快，不均匀	不光洁，易出深痕	较快	易烧丝，丝上有白斑伤痕	应加快进给速度
欠佳跟踪	慢而稳	略焦褐，有条纹	低	焦色	应稍增加进给速度
最佳跟踪	很稳	发白，光洁	快	发白，老化慢	不需再调整

3. 工艺尺寸的确定

电极丝切割加工时，为了获得所要求的加工尺寸，电极丝和加工图形之间必须保持一定的距离，如图 7-11 所示。图中双点画线表示电极丝中心的轨迹，粗实线表示内形或外形轮廓。编程时首先要求出电极丝中心轨迹与加工图形之间的垂直距离 ΔR（间隙补偿距离），并将电极丝中心轨迹分割成单一的直线或圆弧段，求出各线段的交点坐标后，逐步进行编程。

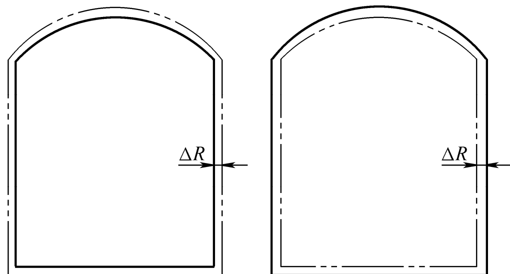


图 7-11　电极丝轨迹中心

4. 工作液的选配

工作液对切割速度、表面粗糙度、加工精度等都有较大影响，加工时必须正确选配。常用的工作液主要有乳化液和去离子水。

1）对于慢速走丝电火花线切割加工，目前普遍使用去离子水。为了提高切割速度，在加工时还要加进有利于提高切割速度的导电液，以增加工作液的电阻率。

2）对于快速走丝电火花线切割加工，目前最常用的是乳化液。乳化液是由乳化油和工作介质配制（浓度为 5%～10%）而成的。工作介质可用自来水，也可用蒸馏水、高纯水和磁化水。

7.3　数控电火花线切割机床编程要点

1. 电极丝的选择

电极丝应具有良好的导电性和抗电蚀性，抗拉强度好，材质均匀。常用电极丝有钼

丝、钨丝、黄铜丝和包芯丝等。钨丝抗拉强度好，一般用于各种窄缝的精加工，但价格昂贵；黄铜丝适合于慢速走丝电火花线切割加工，加工表面质量和平直度较好，蚀屑附着少，但抗拉强度差，损耗大，一般用于慢速单向走丝电火花线切割加工；钼丝抗拉强度好，适合于快速走丝电火花线切割加工，所以我国快速走丝电火花线切割机床大都选用钼丝作电极丝。

电极丝直径的选择应根据切缝宽窄、工件厚度和拐角尺寸大小来选择。若加工带尖角、窄缝的小型工件，宜选用较细的电极丝；若加工大厚度工件或大电流切割时，应选较粗的电极丝。电极丝的主要类型、规格如下：

钼丝直径：0.08～0.2mm；

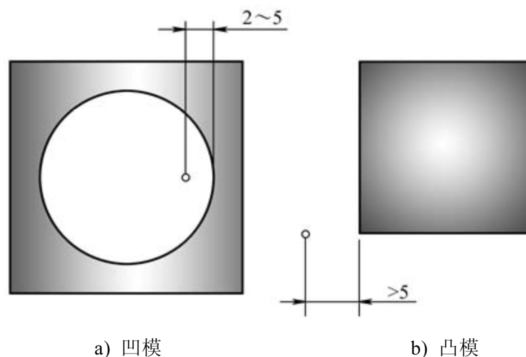
钨丝直径：0.03～0.1mm；

黄铜丝直径：0.1～0.3mm；

包芯丝直径：0.1～0.3mm。

2. 穿丝孔和电极丝切入位置的选择

穿丝孔是电极丝相对工件运动的起点，同时也是程序执行的起点，一般选在工件上的基准点处。加工凹模（内形）时，为缩短开始切割时的切入长度，穿丝孔也可选在距离型孔边缘2～5mm处，如图7-12a所示；加工凸模（外形）时，为减小变形，电极丝切割时的运动轨迹与边缘的距离应大于5mm，如图7-12b所示。



a) 凹模　　b) 凸模

图7-12　切入位置的选择

3. 电极丝位置的调整

线切割加工之前，应将电极丝调整到切割的起始坐标位置上，其调整方法有以下几种：

（1）目测法　对于加工要求较低的工件，在确定电极丝与工件基准间的相对位置时，可以直接利用目测或借助2～8倍的放大镜来进行观察。图7-13是利用穿丝处划出的十字基准线，分别沿划线方向观察电极丝与基准线的相对位置，根据两者的偏离情况移动工作台，当电极丝中心分别与纵、横方向基准线重合时，工作台纵、横方向上的读数就确定了电极丝中心的位置。

（2）火花法　如图7-14所示，移动工作台使工件的基准面逐渐靠近电极丝，在出现火花的瞬时，记下工作台的相应坐标值，再根据放电间隙推算电极丝中心的坐标。此法简单易行，但往往因电极丝靠近基准面时产生的放电间隙，与正常切割条件下的放电间隙不完全相同而产生误差。

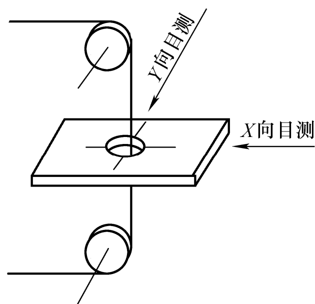
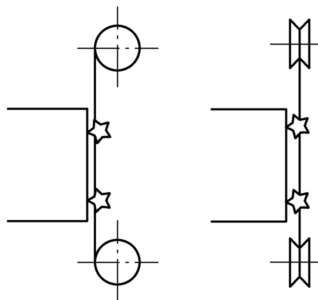


图 7-13　目测法调整电极丝位置


图 7-14　火花法调整电极丝位置

（3）自动找中心　所谓自动找中心，就是让电极丝在工件孔的中心自动定位。此法是根据电极丝与工件的短路信号来确定电极丝的中心位置。数控功能较强的线切割机床常用这种方法。如图 7-15 所示，首先让电极丝在 X 轴方向移动至与孔壁接触，则此时当前点 X 坐标为 X_1，接着电极丝往反方向移动与孔壁接触，此时当前点 X 坐标为 X_2，然后系统自动计算 X 方向中点坐标 X_0=（X_1+X_2）/2，并使电极丝到达 X 方向中点 X_0；接着在 Y 轴方向进行上述过程，电极丝到达 Y 方向中点坐标 Y_0=（Y_1+Y_2）/2。这样经过几次重复就可以找到孔的中心位置，如图 7-15 所示。当精度达到所要求的允许值之后，就确定了孔的中心。

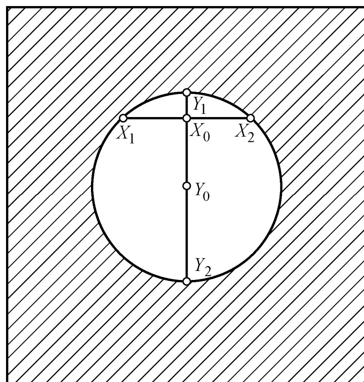


图 7-15　自动找正中心

第 8 章 数控电火花线切割机床编程实例

8.1 3B 代码编程(3 例)

8.1.1 实例 89——3B 代码编程（一）

1. 零件工艺分析

图 8-1 所示的凸模由三段直线与一段圆弧组成，编程时还应增加钼丝从工件外部切入到轮廓线的引入段和从轮廓结束顺原路径引出的程序段。由于图形是左右对称，故选择图 8-2 所示的坐标系为计算坐标系。

2. 计算交点坐标

若不考虑丝径补偿（图 8-1），可以直接按图形轮廓编程。

若考虑丝径补偿，设所用钼丝直径为 0.12mm，单边放电间隙为 0.01mm，则应将整个零件图形轮廓沿周边均匀增大 0.07mm（0.01mm +0.12mm/2），得到图 8-2 中虚线所示的轮廓后，按虚线轮廓（即电极丝中心轨迹）编程。

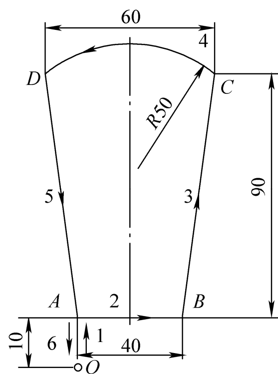


图 8-1 实例 89 零件图（凸模）

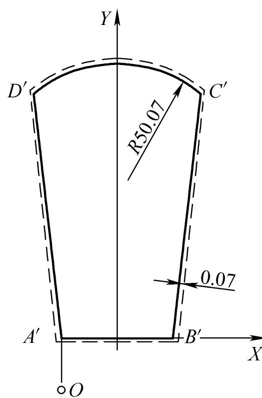


图 8-2 凸模编程示意图

3. 参考程序

不考虑丝径补偿 3B 格式线切割加工参考程序见表 8-1，考虑丝径补偿 3B 格式线切割加工参考程序见表 8-2。

表 8-1　3B 格式线切割加工参考程序（不考虑丝径补偿）

序号	B	X	B	Y	B	J	G	Z	说明
1	B		B		B	10000	G_Y	L2	引入直线段
2	B		B		B	40000	G_X	L1	直线 *AB*
3	B	10000	B	90000	B	90000	G_Y	L1	直线 *BC*
4	B	30000	B	40000	B	60000	G_X	NR1	圆弧 *CD*
5	B	10000	B	90000	B	90000	G_Y	L4	直线 *DA*
6	B		B		B	10000	G_Y	L4	引出直线段
7								D	加工结束

表 8-2　3B 格式线切割加工参考程序（考虑丝径补偿）

序号	B	X	B	Y	B	J	G	Z	说明
1	B	63	B	9930	B	9930	G_Y	L2	引入直线段
2	B		B		B	40125	G_X	L1	直线 *A′B′*
3	B	10011	B	90102	B	90102	G_Y	L1	直线 *B′C′*
4	B	30074	B	40032	B	60148	G_X	NR1	圆弧 *C′D′*
5	B	10011	B	90102	B	90102	G_Y	L4	直线 *D′A′*
6	B	63	B	9930	B	9930	G_Y	L4	引出直线段
7								D	加工结束

8.1.2　实例 90——3B 代码编程（二）

用 3B 格式编制加工图 8-3 所示凸凹模（图示尺寸是根据刃口尺寸公差及凸凹模配合间隙计算出的平均尺寸）的数控线切割程序。电极丝为直径 0.1mm 的钼丝，单面放电间隙为 0.01mm。

1. 零件工艺分析

由于该凸凹模图示尺寸为平均尺寸，故作相应偏移就可按此尺寸编程。图形上、下对称，孔的圆心在图形对称轴上，六个侧面已磨平，可作定位基准。选择在型孔中心处钻穿丝孔，先切割型孔，然后再切割外轮廓。选择图 8-4 所示的坐标系为计算坐标系。

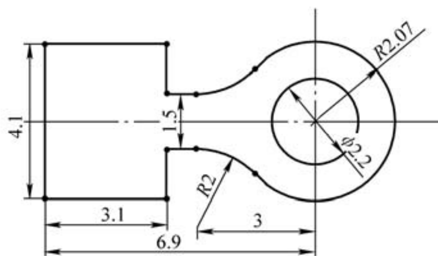


图 8-3　实例 90 零件图（凸凹模）

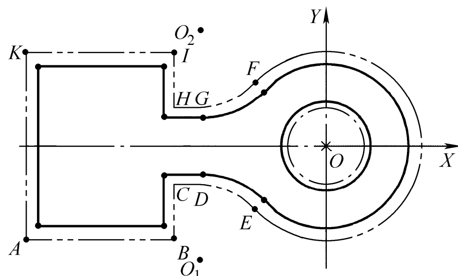


图 8-4　凸凹模编程示意图

2. 计算交点坐标

将电极丝中点轨迹划分成单一的直线或圆弧段。钼丝的中心轨迹如图 8-4 中双点画线所示。丝径补偿量为

$$D=（0.1/2+0.01）\text{mm}=0.06\text{mm}$$

求 E 点的坐标值：因两圆弧的切点必定在两圆弧的连心 OO_1 上。直线 OO_1 的方程为 $Y=（2.75/3）X$，故可求得 E 点的坐标值为 $X=-1.570\text{mm}$，$Y=-1.439\text{mm}$。

其余各交点坐标值可直接从图形中求得，见表 8-3。

切割型孔时电极丝中心至圆心 O 的距离（半径）为

$$R=(1.1-0.06)\text{mm}=1.14\text{mm}$$

表 8-3　交点及圆心坐标值　　（单位：mm）

交点	X 坐标	Y 坐标	圆心	X 坐标	Y 坐标
A	−6.96	−2.11	O	0	0
B	−3.74	−2.11	O_1	−3	−2.75
C	−3.74	−0.81	O_2	−3	2.75
D	−3	−0.81	—	—	—
E	−1.57	−1.439	—	—	—
F	−1.57	1.439	—	—	—
G	−3	0.81	—	—	—
H	−3.74	0.81	—	—	—
I	−3.74	2.11	—	—	—
K	−6.69	2.11	—	—	—

3. *参考程序*

切割凸凹模时，先切割型孔，然后再按 $B→C→D→E→F→G→H→I→K→A→B$ 的顺序切割，3B 格式线切割加工参考程序见表 8-4。

表 8-4　3B 格式线切割加工参考程序

序号	B	X	B	Y	B	J	G	Z	说明
1	B		B		B	001040	Gx	L3	穿丝切割
2	B	1040	B		B	004160	Gy	SR2	
3	B		B		B	001040	Gx	L1	
4								D	拆卸钼丝
5	B		B		B	013000	Gy	L4	空走
6	B		B		B	003740	Gx	L3	空走
7								D	重新装上钼丝
8	B		B		B	012190	Gy	L2	切入并加工 BC 段
9	B		B		B	000740	Gx	L1	
10	B		B	1940	B	000629	Gy	SR1	
11	B	1570	B	1439	B	005641	Gy	NR3	
12	B	1430	B	1311	B	001430	Gx	SR4	
13	B		B		B	000740	Gx	L3	
14	B		B		B	001300	Gy	L2	
15	B		B		B	003220	Gx	L3	
16	B		B		B	004220	Gy	L4	
17	B		B		B	003220	Gx	L1	
18	B		B		B	008000	Gy	L4	退出
19								D	加工结束

8.1.3 实例 91——3B 代码编程（三）

用 3B 代码编制加工图 8-5 所示零件的线切割加工程序。已知线切割加工用的电极丝直径为 0.18mm，单边放电间隙为 0.01mm，图中 *A* 点为穿丝孔，加工方向沿 *A*→*B*→*C*→*D*→*E*→*F*→*G*→*H*→*A* 进行。由于图形是左右对称，故选择图 8-5 所示的坐标系为计算坐标系。

1. 零件工艺分析

用线切割加工图 8-5 所示的凸模状零件，实际加工中由于钼丝半径和放电间隙的影响，钼丝中心运行的轨迹形状如图 8-6 中虚线所示，即加工轨迹与零件图相差一个补偿量。

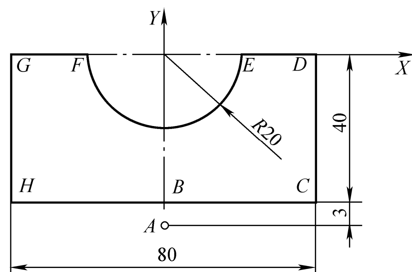


图 8-5 实例 91 零件图

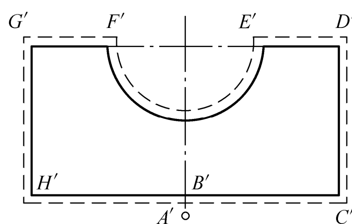


图 8-6 钼丝轨迹图

2. 计算交点坐标

在加工中需要注意的是圆弧的编程，圆弧 *EF* 与圆弧 *E′F′*有较多不同点，它们的特点比较见表 8-5。

表 8-5 圆弧 *EF* 和 *E′F′*特点的比较

圆　弧	起　点	起点所在象限	圆弧首先进入象限	圆弧经历象限
圆弧 *EF*	*E*	*X* 轴上	第四象限	第二、三象限
圆弧 *E′F′*	*E′*	第一象限	第一象限	第一、二、三、四象限

圆弧 *E′F′*计算过程如下：

*E′*点的坐标为：$Y_{E'}$=0.1mm，$X_{E'}=\sqrt{(20-0.1)^2-0.1^2}\text{mm}=19.900\text{mm}$。

根据对称原理可得 *F′*的坐标为（−19.900，0.1）。

根据上述计算可知圆弧 *E′F′*的终点坐标的 *Y* 的绝对值小，所以计数方向为 *Y*。

圆弧 *E′F′*在第一、二、三、四象限分别向 *Y* 轴投影得到长度的绝对值分别为 0.1 mm、19.9 mm、19.9 mm、0.1 mm，故 J=40000。

圆弧 *E′F′*首先在第一象限顺时针切割，故加工指令为 SR1。

3. 参考程序

3B 格式线切割加工参考程序见表 8-6。

表 8-6 3B 格式线切割加工参考程序

序 号	B	X	B	Y	B	J	G	Z	说 明
1	B	0	B	0	B	2900	G_Y	L2	直线 *A′B′*
2	B	40100	B	0	B	40100	G_X	L1	直线 *B′C′*
3	B	0	B	40200	B	40200	G_Y	L2	直线 *C′D′*
4	B	0	B	0	B	20200	G_X	L3	直线 *D′E′*
5	B	19900	B	100	B	40000	G_Y	SR1	圆弧 *E′ F′*
6	B	20200	B	0	B	20200	G_X	L3	直线 *F′ G′*
7	B	0	B	40200	B	40200	G_Y	L4	直线 *G′ H′*
8	B	40100	B	0	B	40100	G_X	L1	直线 *H′ B′*
9	B	0	B	2900	B	2900	G_Y	L4	直线 *B′A′*
10								D	加工结束

8.2 ISO 代码编程（9 例）

8.2.1 实例 92——ISO 代码编程（一）

如图 8-7 所示零件，按图中箭头所示加工轨迹方向，试用 ISO 代码编制线切割加工程序，电极丝直径为 0.18mm，单边放电间隙为 0.01mm。

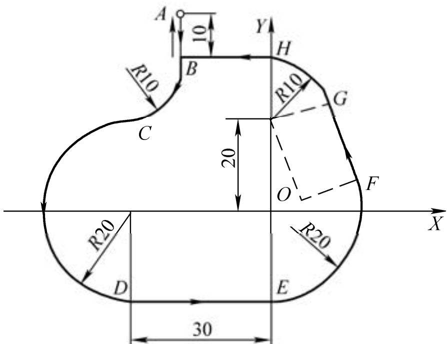


图 8-7 实例 92 零件图

1. 零件工艺分析

在不考虑间隙补偿的情况下，以绝对坐标编程方式进行编程，根据装夹方式建立坐标系，如图 8-7 所示。

2. 计算交点坐标

按图示作辅助线后，即可得知该公切线的法线与 *X* 轴的夹角为 30°，因此可按式 $X=X_0+L\cos30°$、$Y=Y_0+L\sin30°$ 算出公切线的两端点 *F*、*G* 的坐标，各点坐标见表 8-7。

表 8-7 交点坐标值 （单位：mm）

交 点	*X* 坐 标	*Y* 坐 标	交 点	*X* 坐 标	*Y* 坐 标
A	−20	40	*E*	0	−20
B	−20	30	*F*	17.32	10
C	−30	20	*G*	8.66	25
D	−30	−20	*H*	0	30

3. 参考程序

不考虑间隙补偿的 ISO 格式线切割加工参考程序见表 8-8。

表 8-8　ISO 格式线切割加工参考程序（不考虑间隙补偿）

程　　序	说　　明
N010 T84 T86 G90 G54；	切削液开，钼丝电动机起动
N020 G92 X-20.0 Y40.0；	建立工件坐标系
N030 G90 G01 X-20.0 Y30.0；	从穿丝孔到工件轮廓的引入线
N040 G02 X-30.0 Y20.0 I-10.0 J0.0；	左上方 *R*10mm 的顺圆
N050 G03 X-30.0 Y-20.0 I0.0 J-20.0；	左下方 *R*20mm 的逆圆
N060 G01 X0.0 Y-20.0；	正下方的水平直线
N070 G03 X17.321 Y10.0 I0.0 J20.0；	右下方 *R*20mm 的逆圆
N080 G01 X8.66 Y25.0；	右方公切线
N090 G03 X0.0 Y30.0 I-8.66 J-5.0；	右上方 *R*10mm 的逆圆
N100 G01 X-20.0 Y30.0；	正上方的水平直线
N110 X-20.0 Y40.0；	返回穿丝孔的引出线
N120 T85 T87；	切削液关，钼丝电动机关
N130 M02；	程序结束

在数控线切割加工中，由于数控装置所控制的是电极丝中心的行走轨迹，而实际加工轮廓却是由丝径外围和被切金属间产生电蚀作用而形成的。和数控铣床加工轮廓时需考虑刀具半径补偿一样，线切割加工时也必须考虑这一尺寸偏差，这在线切割加工中称之为间隙补偿量。其值通常为 *D*=丝半径+单边放电间隙（+精加工余量）。

本例若考虑间隙补偿，所用电极丝直径为 0.18mm，单边放电间隙为 0.01 mm，则间隙补偿值为（0.01+0.18/2）mm=0.10mm。

表 8-9 中的程序是在考虑间隙补偿后的 ISO 格式加工程序。

表 8-9　ISO 格式线切割加工参考程序（考虑间隙补偿）

程　　序	说　　明
N010 H001=0.1；	设定补偿值
N020 T84 T86 G90 G54；	切削液开，钼丝电动机起动
N030 G92 X-20.0 Y40.0；	建立工件坐标系
N040 G90 G01 G42 X-20.0 Y30.0 H001；	从穿丝孔到工件轮廓的引入线
N050 G02 X-30.0 Y20.0 I-10.0 J0.0；	左上方 *R*10mm 的顺圆
N060 G03 X-30.0 Y-20.0 I0.0 J-20.0；	左下方 *R*20mm 的逆圆
N070 G01 X0.0 Y-20.0；	正下方的水平直线
N080 G03 X17.321 Y10.0 I0.0 J20.0；	右下方 *R*20mm 的逆圆
N090 G01 X8.66 Y25.0；	右方公切线
N100 G03 X0.0 Y30.0 I-8.66 J-5.0；	右上方 *R*10mm 的逆圆
N110 G01 X-20.0 Y30.0；	正上方的水平直线
N120 G40 X-20.0 Y40.0；	返回穿丝孔的引出线
N130 T85 T87；	切削液关，钼丝电动机关
N140 M02；	程序结束

8.2.2　实例 93——ISO 代码编程（二）

如图 8-8 所示的五角星零件，已知线切割加工用的电极丝直径为 0.12mm，单边放电间隙为 0.01 mm，试编制其加工程序。

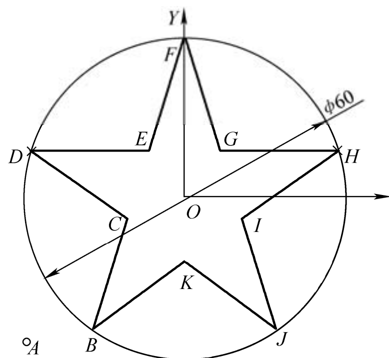


图 8-8 实例 93 零件图

1. 零件工艺分析

如图 8-8 所示，该零件所有切割路径都是直线，程序编制并不难，穿丝孔在 A 点，按 $A \to B \to C \to D \to E \to F \to G \to H \to I \to J \to K \to B \to A$ 的顺序切割。由于图形是左右对称，故选择图 8-8 所示的坐标系为计算坐标系。

2. 计算交点坐标

各个交点坐标没有直接给出，需要计算才能得到。间隙补偿量为

$$D = (0.12/2 + 0.01)\ \text{mm} = 0.07\ \text{mm}$$

求出各交点的坐标，见表 8-10。

表 8-10 交点坐标值 （单位：mm）

交　点	X 坐　标	Y 坐　标	交　点	X 坐　标	Y 坐　标
A	–35.0	–35.0	G	6.74	9.27
B	–17.63	–24.27	H	28.53	9.27
C	–10.90	–3.54	I	10.90	–3.54
D	–28.53	9.27	J	17.63	–24.27
E	–6.74	9.27	K	0.0	–11.46
F	0.0	30.0	—	—	—

3. 参考程序

考虑间隙补偿的 ISO 格式线切割加工参考程序见表 8-11。

表 8-11 ISO 格式线切割加工参考程序

程　序	说　明
N010 H001=0.07；	设定补偿值
N020 T84 T86 G90 G54；	切削液开，钼丝电动机起动
N030 G92 X-35.0 Y-35.0；	建立工件坐标系
N040 G41 G01 X-17.63 Y-24.27 H001；	引入补偿，AB 直线
N050 G01 X-10.90 Y-3.54；	BC 直线
N060 X-28.53 Y9.27；	CD 直线
N070 X-6.74；	DE 直线
N080 X0.0 Y30.0 ；	EF 直线
N090 X6.74 Y9.27；	FG 直线
N100 X28.53；	GH 直线

（续）

程　　序	说　　明
N110 X10.90 Y-3.54；	*HI* 直线
N120 X17.63 Y-24.27；	*IJ* 直线
N130 X0.0 Y-11.46；	*JK* 直线
N140 X-17.63 Y-24.27；	*KB* 直线
N150 G40 X-35.0 Y-35.0；	取消刀补，回起始点
N160 T85 T87；	切削液关，钼丝电动机关
N170 M02；	程序结束

8.2.3　实例 94——ISO 代码编程（三）

如图 8-1 所示的凸模，已知线切割加工用的电极丝直径为 0.12mm，单边放电间隙为 0.01mm，用 ISO 格式编写该凸模零件的线切割加工程序。由于图形是左右对称，故选择图 8-2 所示的坐标系为计算坐标系。

1. 零件工艺分析

如图 8-1 所示，该凸模由三段直线与一段圆弧组成，编程时还应增加钼丝从工件外部切入到轮廓线的引入段和从轮廓结束顺原路径引出的程序段。

2. 计算交点坐标

如图 8-2 所示，虚线为电极丝中心轨迹，间隙补偿量为

$$D=(0.12/2+0.01)\ \text{mm}=0.07\ \text{mm}$$

穿丝孔在 O 点，按 $O\rightarrow A\rightarrow B\rightarrow C\rightarrow D\rightarrow O$ 的顺序切割。各交点的坐标见表 8-12。

表 8-12　交点坐标值　　（单位：mm）

交　　点	*X* 坐　标	*Y* 坐　标	交　　点	*X* 坐　标	*Y* 坐　标
A	–20.0	0.0	*D*	–30.0	90.0
B	20.0	0.0	*O*	–20.0	–10.0
C	30.0	90.0	—	—	—

3. 参考程序

考虑间隙补偿的 ISO 格式线切割加工参考程序见表 8-13。

表 8-13　ISO 格式线切割加工参考程序

程　　序	说　　明
N010 H001=0.07；	设定补偿值
N020 T84 T86 G90 G54；	切削液开，钼丝电动机起动
N030 G92 X-20.0 Y-10.0；	建立工件坐标系
N040 G42 H001；	引入补偿
N050 G01 X-20.0 Y0.0；	*OA* 直线
N060 G01 X20.0 Y0.0；	*AB* 直线
N070 G01 X30.0 Y90.0；	*BC* 直线
N080 G03 X-30.0 Y90.0 I-30.0 J-40.0；	*CD* 圆弧
N090 G01 X-20.0 Y0.0　；	*DA* 直线
N100 G01 X-20.0 Y-10.0；	*AO* 直线
N110 G40；	
N120 T85 T87；	切削液关，钼丝电动机关
N130 M02；	程序结束

8.2.4 实例 95——ISO 代码编程（四）

如图 8-9 所示为一落料零件，用 ISO 格式编写该零件的凹模与凸模的线切割加工程序。已知该模具要求单边配合间隙为 0.01mm，电极丝直径为 0.18mm，单边放电间隙为 0.01mm。

1. 凹模编程

（1）**零件工艺分析** 如图 8-10 所示，双点画线为电极丝中心轨迹。由于图形是左右对称，故选择图 8-10 所示的坐标系为计算坐标系。因该模具为落料模，冲件的尺寸由凹模决定，模具配合间隙应在凸模上扣除，所以凹模的间隙补偿量为

$$D=(0.18/2+0.01)\ \mathrm{mm}=0.1\,\mathrm{mm}$$

（2）**计算交点坐标** 如图 8-10 所示，穿丝孔在 O 点，按 $O\rightarrow A\rightarrow B\rightarrow C\rightarrow D\rightarrow O$ 的顺序切割。各交点的坐标见表 8-14。

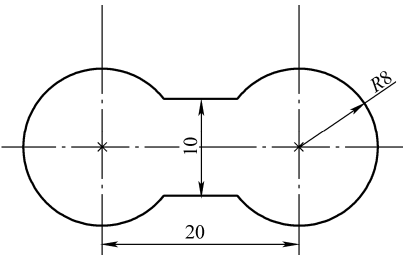


图 8-9 实例 95 零件图

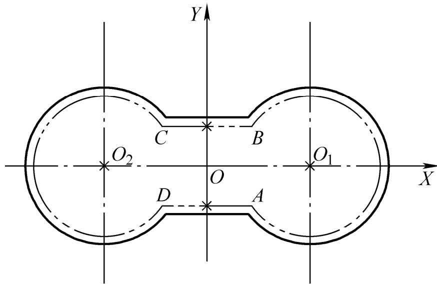


图 8-10 凹模电极丝中心轨迹

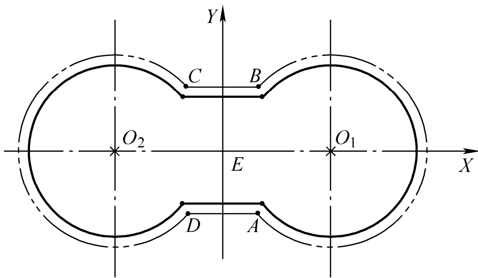


图 8-11 凸模电极丝中心轨迹

表 8-14 交点坐标值 （单位：mm）

交 点	X 坐 标	Y 坐 标	交 点	X 坐 标	Y 坐 标
A	3.755	−5	D	−3.755	−5
B	3.755	5	O	0	0
C	−3.755	5	—	—	—

（3）**参考程序** 考虑间隙补偿的凹模零件 ISO 格式线切割加工参考程序见表 8-15。

表 8-15 ISO 格式线切割加工参考程序（凹模）

程 序	说 明
N010 H001=0.1；	设定补偿值
N020 T84 T86 G90 G54；	切削液开，钼丝电动机起动
N030 G92 X0 Y0；	建立工件坐标系

（续）

程　序	说　明
N040 G41 H001；	引入补偿
N050 G01 X3.755 Y-5.0；	
N060 G03 X3.755 Y5.0 I6.245 J5.0；	右端圆弧
N070 G01 X-3.755 Y5.0；	上方的水平直线
N080 G03 X-3.755 Y-5.0 I-6.245 J-5.0；	左端圆弧
N090 G01 X3.755 Y-5.0；	下方的水平直线
N100 G40；	
N110 G01 X0 Y0；	
N120 T85 T87；	切削液关，钼丝电动机关
N130 M02；	程序结束

2. 凸模编程

（1）**零件工艺分析**　如图 8-11 所示，双点画线为电极丝中心轨迹。由于图形是左右对称，故选择图 8-11 所示的坐标系为计算坐标系。由于模具配合间隙在凸模上扣除，所以凸模的间隙补偿量为

$$D=（0.18/2+0.01-0.01）mm=0.09mm$$

（2）**计算交点坐标**　穿丝孔在 E 点，按 $E\rightarrow A\rightarrow B\rightarrow C\rightarrow D\rightarrow E$ 的顺序切割。各交点的坐标见表 8-16。

表 8-16　交点坐标值　（单位：mm）

交点	*X* 坐标	*Y* 坐标	交点	*X* 坐标	*Y* 坐标
A	3.755	–5	*D*	–3.755	–5
B	3.755	5	*E*	0	0
C	–3.755	5	—	—	—

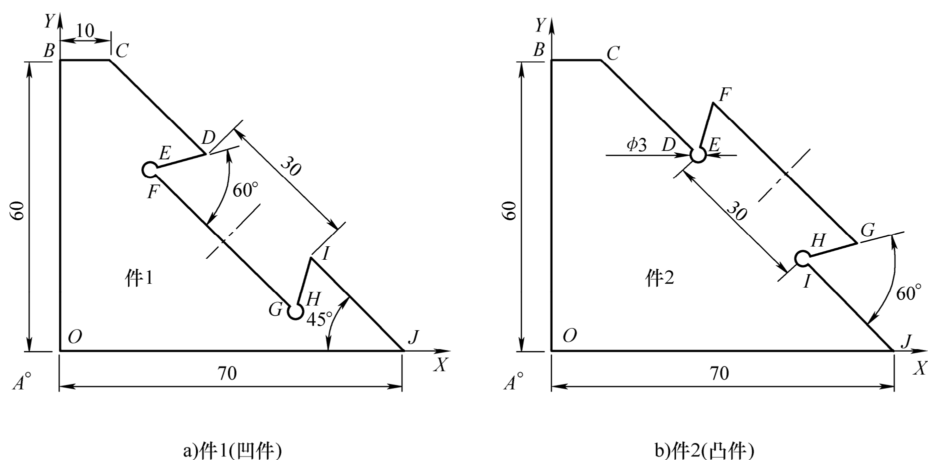
（3）**参考程序**　考虑间隙补偿的凸模零件 ISO 格式线切割加工参考程序见表 8-17。

表 8-17　ISO 格式线切割加工参考程序（凸模）

程　序	说　明
N010 G92 X0 Y0；	建立工件坐标系
N020 G41 D0.090；	引入补偿
N030 G01 X3.755 Y-5.0；	
N040 G03 X3.755 Y5.0 I6.245 J5.0；	右端圆弧
N050 G01 X-3.755 Y5.0；	上方的水平直线
N060 G03 X-3.755 Y-5.0 I-6.245 J-5.0；	左端圆弧
N070 G01 X3.755 Y-5.0；	下方的水平直线
N080 G40；	
N090 G01 X0 Y0；	
N100 T85 T87；	切削液关，钼丝电动机关
N110 M02；	程序结束

8.2.5　实例 96——ISO 代码编程（五）

如图 8-12 所示配合类工件，要求单边配合间隙为 0.01mm，用 ISO 格式编写该零件的线切割加工程序。已知电极丝直径为 0.18mm，单边放电间隙为 0.01mm。



a)件1(凹件)　　b)件2(凸件)

图 8-12　配合类零件图

1. 件 1 编程

（1）**零件工艺分析**　建立图 8-12a 所示的计算坐标系，将配合间隙在件 2 上扣除，所以件 1 的间隙补偿量为

$$D=(0.18/2+0.01)\ \text{mm}=0.1\ \text{mm}$$

（2）**计算交点坐标**　穿丝孔在 *A* 点，按 *A*→*O*→*B*→*C*→*D*→*E*→*F*→*G*→*H*→*I*→*J*→*O* 的顺序切割。各交点的坐标见表 8-18。

表 8-18　交点坐标值　（单位：mm）

交　点	*X* 坐　标	*Y* 坐　标	交　点	*X* 坐　标	*Y* 坐　标
A	−5.0	−5.0	*G*	46.91	8.95
B	0.0	60.0	*H*	47.88	9.21
C	10.0	60.0	*I*	50.61	19.39
D	29.39	40.61	*J*	70.0	0.0
E	19.21	37.88	*O*	0.0	0.0
F	18.95	36.91	—	—	—

（3）**参考程序**　考虑间隙补偿的件 1ISO 格式线切割加工参考程序见表 8-19。

表 8-19　ISO 格式线切割加工参考程序（件 1）

程　序	说　明
N010 H001=0.1；	设定补偿值
N020 T84 T86 G90 G54；	切削液开，钼丝电动机起动
N030 G92 X−5.0 Y−5.0；	建立工件坐标系
N040 G41 G01 X0.0 Y0.0 H001；	引入补偿
N050 Y60.0；	
N060 X10.0；	
N070 X29.39 Y40.61；	
N080 X19.21 Y37.88；	
N090 G03 X18.95 Y36.91 I−0.97 J−0.26；	

（续）

程　　序	说　　明
N100 G01 X46.91 Y8.95；	
N110 G03 X47.88 Y9.21 I0.71 J-0.71；	
N120 G01 X50.61 Y19.39；	
N130 X70.0 Y0.0；	
N140 X0.0 ；	
N150 G40 X-5.0 Y-5.0；	
N160 T85 T87；	切削液关，钼丝电动机关
N170 M02；	程序结束

2. 件 2 编程

（1）**零件工艺分析**　建立图 8-12b 所示的计算坐标系，由于配合间隙在件 2 上扣除，所以件 2 的间隙补偿量为

$$D=(0.18/2+0.01-0.01)\ \text{mm}=0.09\ \text{mm}$$

（2）**计算交点坐标**　穿丝孔在 A 点，按 $A \to O \to B \to C \to D \to E \to F \to G \to H \to I \to J \to O$ 的顺序切割。各交点的坐标见表 8-20。

表 8-20　交点坐标值　（单位：mm）

交　　点	X 坐　标	Y 坐　标	交　　点	X 坐　标	Y 坐　标
A	−5.0	−5.0	*G*	61.76	22.38
B	0.0	60.0	*H*	51.57	19.65
C	10.0	60.0	*I*	51.31	18.69
D	28.69	41.31	*J*	70.0	0.0
E	29.65	41.57	*O*	0.0	0.0
F	32.38	51.76	—	—	—

（3）**参考程序**　考虑间隙补偿的件 2 的 ISO 格式线切割加工参考程序见表 8-21。

表 8-21　ISO 格式线切割加工参考程序（件 2）

程　　序	说　　明
N010 H001=0.09；	设定补偿值
N020 T84 T86 G90 G54；	切削液开，钼丝电动机起动
N030 G92 X-5.0 Y-5.0；	建立工件坐标系
N040 G41 G01 X0.0 Y0.0 H001；	引入补偿
N050 Y60.0；	
N060 X10.0；	
N070 X28.69 Y41.31；	
N080 G03 X29.65 Y41.57 I0.71 J-0.71；	
N090 G01 X32.38 Y51.76；	
N100 X61.76 Y22.38；	
N110 X51.57 Y19.65 ；	
N120 G03 X51.31 Y18.69 I-0.97 J-0.26；	
N130 G01 X70.0 Y0.0；	
N140 X0.0；	
N150 G40 X-5.0 Y-5.0；	
N160 T85 T87；	切削液关，钼丝电动机关
N170 M02；	程序结束

8.2.6 实例 97——ISO 代码编程（六）

如图 8-13 所示梅花形零件，材料是 2mm 厚的不锈钢板，用 ISO 格式编写该零件的线切割加工程序。已知电极丝直径为 0.18mm，单边放电间隙为 0.01mm。

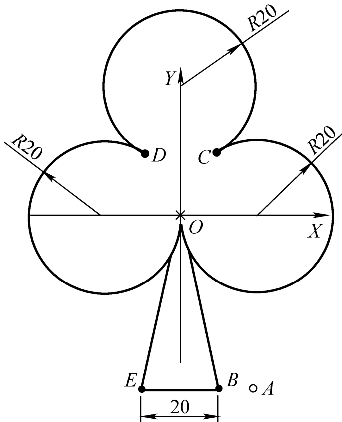


图 8-13 实例 97 零件图

1. 零件工艺分析

该梅花形零件尺寸要求比较严格，由于原材料是 2mm 厚的不锈钢板，因此装夹比较方便。建立图 8-13 所示的计算坐标系，编程时要注意偏移补偿的给定，并留够装夹位置。其中间隙补偿量为

$$D=(0.18/2+0.01)\ \text{mm}=0.1\,\text{mm}$$

2. 计算交点坐标

为了减小材料内部组织及内应力对加工精度的影响，要选择合适的进给路线，进给路线是 $A\to B\to O\to C\to D\to O\to E\to B\to A$，采用半径右补偿 G42 加工。各点的坐标计算见表 8-22。

表 8-22 交点坐标值 （单位：mm）

交 点	X 坐 标	Y 坐 标	交 点	X 坐 标	Y 坐 标
A	20.0	–40.0	D	–10.0	17.321
B	10.0	–40.0	E	–10.0	–40.0
C	10.0	17.321	O	0.0	0.0

3. 参考程序

考虑间隙补偿的梅花形零件 ISO 格式线切割加工参考程序见表 8-23。

表 8-23 ISO 格式线切割加工参考程序（考虑间隙补偿）

程 序	说 明
N010 H001=0.1；	设定补偿值
N020 T84 T86 G90 G54；	切削液开，钼丝电动机起动
N030 G92 X20.0 Y-40.0；	建立工件坐标系
N040 G42 H001；	引入补偿
N050 G01 X10.0 Y-40.0；	AB 直线

（续）

程　　序	说　　明
N060 G01 X0.0 Y0.0；	*BO* 直线
N070 G03 X10.0 Y17.321 I−20.0 J0.0；	*OC* 圆弧
N080 G03 X−10.0 Y17.321 I−10.0 J17.321；	*CD* 圆弧
N090 G03 X0.0 Y0.0 I−10.0 J−17.321；	*DO* 圆弧
N100 G01 X−10.0 Y−40.0；	*OE* 直线
N110 G01 X10.0 Y−40.0；	*EB* 直线
N120 G40 X20.0 Y−40.0；	*BA* 直线
N130 T85 T87；	切削液关，钼丝电动机关
N140 M02；	程序结束

8.2.7　实例 98——ISO 代码编程（七）

如图 8-14 所示船形零件，材料为厚度 2mm 的不锈钢，试采用 ISO 代码编写其线切割加工程序。已知电极丝直径为 0.18mm，单边放电间隙为 0.01mm。

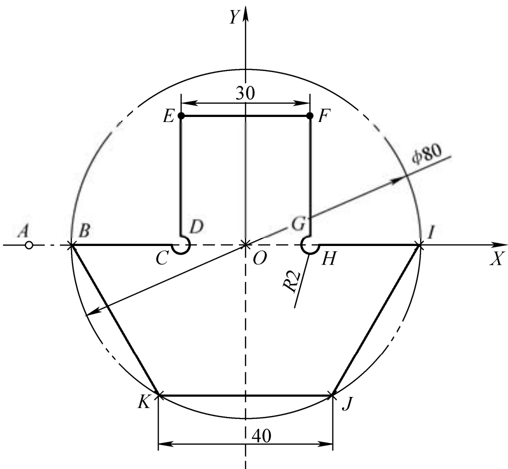


图 8-14　实例 98 零件图

1. 零件工艺分析

该船形零件材料为厚度 2mm 的不锈钢，装夹容易。建立图 8-14 所示的计算坐标系，其中间隙补偿量为

$$D = (0.18/2 + 0.01)\ \text{mm} = 0.1\,\text{mm}$$

2. 计算交点坐标

穿丝孔在 *A* 点，按 *A*→*B*→*C*→*D*→*E*→*F*→*G*→*H*→*I*→*J*→*K*→*B*→*A* 的顺序切割。各交点的坐标见表 8-24。

表 8-24　交点坐标值　（单位：mm）

交　点	*X* 坐　标	*Y* 坐　标	交　点	*X* 坐　标	*Y* 坐　标
A	−50.0	0.0	*D*	−15.0	2.0
B	−40.0	0.0	*E*	−15.0	30.0
C	−17.0	0.0	*F*	15.0	30.0

（续）

交　点	X 坐　标	Y 坐　标	交　点	X 坐　标	Y 坐　标
G	15.0	2.0	J	20.0	–34.641
H	17.0	0.0	K	–20.0	–34.641
I	40.0	0.0	—	—	—

3. 参考程序

考虑间隙补偿的船形零件 ISO 格式线切割加工参考程序见表 8-25。

表 8-25　ISO 格式线切割加工参考程序（考虑间隙补偿）

程　序	说　明
N010 H001=0.1；	设定补偿值
N020 T84 T86 G90 G54；	切削液开，钼丝电动机起动
N030 G92 X-50.0 Y0.0；	设定坐标系
N040 G41 G01 X-40.0 H001；	
N050 X-17.0；	
N060 G03 X-15.0 Y2.0 I2.0；	
N070 G01 Y30.0；	
N080 X15.0；	
N090 Y2.0；	
N100 G03 X-17.0 Y0.0 J-2.0；	
N110 G01 X40.0 Y0.0；	
N120 X20.0 Y-34.641；	
N130 X-20.0；	
N140 X-40.0 Y0.0；	
N150 G40 X-50.0 Y0.0；	
N160 T85 T87；	切削液关，钼丝电动机关
N170 M02；	程序结束

8.2.8　实例 99——ISO 代码编程（八）

在一块 270mm×165mm 的方板上切割出图 8-15 所示的长方形、三角形和圆形。已知电极丝直径为 0.18mm，单边放电间隙为 0.01mm。其中，P_1、P_2 和 P_3 为穿丝点，电极丝的初始坐标为（80.0，40.0）。

图 8-15　实例 99 零件图

1. 零件工艺分析

如图 8-15 所示，对长方形、三角形和圆形分别编程，各自采用子程序编程，建立图 8-15 所示的计算坐标系，间隙补偿量为

$$D = (0.18/2 + 0.01)\ \text{mm} = 0.1\,\text{mm}$$

2. 计算交点坐标

切割长方形时，穿丝孔在 P_1 点，按 $P_1 \to A \to B \to C \to D \to E \to P_1$ 的顺序切割。切割三角形时，穿丝孔在 P_2 点，按 $P_2 \to F \to G \to H \to P_2$ 的顺序切割。切割圆形时，穿丝孔在 P_3 点，按 $P_3 \to I \to P_3$ 的顺序切割。各交点的坐标见表 8-26。

表 8-26 交点坐标值

交点	X 坐标	Y 坐标	交点	X 坐标	Y 坐标
A	80.0	60.0	G	140.0	80.0
B	120.0	60.0	H	60.0	80.0
C	120.0	20.0	I	240.0	80.0
D	40.0	20.0	P_1	80.0	40.0
E	40.0	60.0	P_2	100.0	120.0
F	100.0	140.0	P_3	200.0	80.0

3. 参考程序

主程序和三个子程序的参考程序分别见表 8-27～表 8-30，每个子程序完成一个图形的加工。

表 8-27 ISO 格式线切割加工参考程序（主程序）

程序	说明
N010 H001=0.1；	设定补偿值
N020 T84 T86 G90 G54	切削液开，钼丝电动机起动
N030 G92 X80.0 Y40.0；	设定坐标系
N040 G41 G01 X80.0 Y70.0 H001；	
N050 M98 P0101；	调用长方形子程序
N060 G93 X0.0 Y0.0；	坐标平移
N070 M50；	切断丝
N080 G90 G00 X100.0 Y120.0；	快速移动
N090 M60；	穿丝
N100 M98 P0102；	调用三角形子程序
N110 G93 X0.0 Y0.0；	坐标平移
N120 M50；	切断丝
N130 G90 G00 X200.0 Y80.0；	快速移动
N140 M60；	穿丝
N150 M98 P0103；	调用圆形子程序
N160 G40；	
N170 T85 T87；	切削液关，钼丝电动机关
N180 M02；	程序结束

表 8-28 ISO 格式线切割加工参考程序（长方形子程序）

程序	说明
N010 G93 X120.0 Y60.0；	坐标原点平移到矩形的右上角处
N020 G90 G01 Y0.0；	绝对坐标从矩形中心到矩形上边中心处
N030 X0.0；	到矩形右上角处

（续）

程　　序	说　　明
N040 Y-40.0；	到矩形右下角处
N050 X-80.0；	到矩形左下角处
N060 Y0.0；	到矩形左上角处
N070 X-40.0；	到矩形上边中心处
N080 Y-20.0；	回到矩形的穿丝点
N090 M99；	子程序结束，返回主程序

表 8-29　线切割加工程序（三角形子程序）

程　　序	说　　明
N010 G93 X100.0 Y80.0；	坐标平移三角形底边中间处
N020 G90 G01 Y60.0；	到三角形顶点处
N030 X40.0 Y0.0；	到三角形右下角处
N040 Y-40.0；	到三角形左下角处
N050 X0 Y60.0；	到三角形顶点处
N060 Y40.0；	回到三角形的穿丝点
N070 M99；	子程序结束返回主程序

表 8-30　ISO 格式线切割加工参考程序（圆形子程序）

程　　序	说　　明
N010 G93 X200.0 Y80.0；	坐标平移到圆心处
N020 G90 G01 Y40.0；	到圆上 *I* 点
N030 G02 J-40.0；	顺时针切割圆
N040 G01 Y0.0；	回到圆心处
N050 M99；	子程序结束，返回主程序

8.2.9　实例 100——ISO 代码编程（九）

如图 8-16 所示为一带锥度的正方棱锥体工件，试编制线切割加工程序。已知该零件要求单边放电间隙为 0.01mm，电极丝直径为 0.18mm。

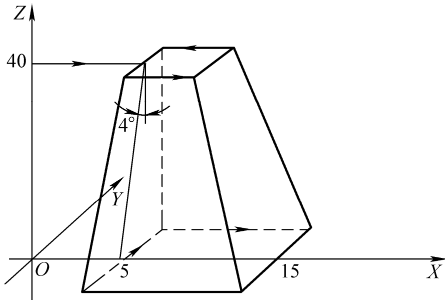


图 8-16　带锥度的正方棱锥体

1. 零件工艺分析

本例工件的轮廓为带锥形轮廓，编写其加工程序时，应设置导轮中心到工作台面的距离，从而保证加工锥度的准确性。设下导轮中心与工作台面之间的距离为 60mm，上导轮

中心到工作台面之间的距离为 100mm。建立图 8-16 所示的计算坐标系，间隙补偿量为

$$D = (0.18/2 + 0.01)\ \text{mm} = 0.1\,\text{mm}$$

2. 计算交点坐标

由于零件比较简单，各交点坐标值一目了然，不再列出各交点坐标值。

3. 参考程序

带锥度的正方棱锥体工件 ISO 格式线切割加工参考程序见表 8-31。

表 8-31　ISO 格式线切割加工参考程序

程　　序	说　　明
N010 H001=0.1；	设定补偿值
N020 T84 T86 G90 G54；	切削液开，钼丝电动机起动
N030 G92 X0.0 Y0.0；	建立工件坐标系
N040 W60.0；	下导轮中心与工作台面之间的距离为 60 mm
N050 H40.0；	工件厚度为 40 mm
N060 S100.0；	上导轮中心到工作台面之间的距离为 100 mm
N070 G52 α4；	锥度为 4°，形状为上小下大（顺时针方向切割）
N080 G41 G01 X5.0 Y0.0 H001；	引入补偿
N090 Y5.0；	
N100 X15.0 ；	
N110 Y-5.0；	
N120 X5.0；	
N130 X5.0 Y0.0；	
N140 G50；	取消锥度加工
N150 G40 G01 X0.0 Y0.0；	
N160 T85 T87；	切削液关，钼丝电动机关
N170 M02；	程序结束

附录

常用材料及刀具切削参数推荐值

工 件 材 料	刀 具 材 料	刀具几何参数		切 削 用 量		
		γ_o/（°）	α_o /（°）	v_c /（m/min）	a_p/ mm	f /（mm/r）
低碳钢	G	25～30	8～20	30～40	0.3～5	0.1～0.5
易切钢	YT、YW	20～25	8～10	90～180	0.3～10	0.08～1
中碳钢	G	15～20	6～8	20～30	0.5～5	0.1～0.5
	YT、YW	10～15	6～8	60～160	0.3～8	0.08～1
合金钢	G	15～20	6～8	15～25	0.3～5	0.1～0.5
	YT、YW	10～15	6～8	40～130		0.08～1
	T	0～−5	6～8	80～150		0.1～0.4
铸铁	YG	5～10	6～8	40～120	0.3～8	0.1～0.8
	T	0～−8	6～8	200～400	0.3～5	0.1～0.5
	PCBN	0～−8	8～10	300～800	0.1～2	0.1～0.3
铸钢	G	10～15	6～8	10～15	0.3～5	0.1～0.5
	YT、YW	5～10	6～8	60～80	0.3～6	0.2～0.8
铜和铜合金	G	10～15	6～8	40～80	0.1～10	0.05～1
	YG、YW	纯铜(25～30) 5～10	6～8	100～200	0.05～10	0.1～0.4
	PCD	0	8～10	200～1000	0.1～3	0.1～0.3
铝和铝合金	G	30～35	8～10	40～70	0.1～10	0.1～0.5
	YG、YW	25～30	8～10	150～300	0.1～10	0.1～0.5
	PCD	0～10	10～12	200～1000	0.5～3	0.05～0.3
铸铝合金	G	25～30	8～10	40～60	0.1～8	0.1～0.3
	YG	20～25	8～10	100～200	0.1～8	0.05～0.5
	PCD	0～10	10～12	200～600	0.1～3	0.1～0.3
不锈钢	G	20～25	8～10	13～20	>0.2	>0.1 >0.2
	YG、YW	15～20	10～12	60～80		
淬火钢	YG、YS	0～−10	8～10	30～75	0.1～2	0.05～0.3
	T	−8～−10	8～10	60～120		
	PCBN	0	8～10	100～200		
高锰钢	G	5～10	8～10	3～5	>0.2	>0.2
	YG	0～−5	8～12	20～40		
	T	0～−8	6～8	50～80		
钛合金	G	10～20	10～15	8～12	1～5	>0.05
	YG	5～15		15～54		
	PCD	0		80～150	0.5～3	

（续）

工件材料	刀具材料	刀具几何参数		切削用量		
		γ_o/（°）	α_o/（°）	v_c/（m/min）	a_p/mm	f/（mm/r）
高温合金	G	10～20	10～12	6～12	0.2～5	>0.1
	YG、YW	5～10	10～15	10～40		
	T	0～−8	8～10	80～120		
	PCBN	0		150～200		
冷硬铸铁	YG、YS	0～−5	5～10	7～20	1～5	0.5～1
	T			40～60	0.5～3	0.1～0.6
	PCBN			70～80	0.5～2	0.1～0.3
软橡胶	G	45～55	10～15	4～60	0.5～5	0.2～0.5
	YG			100～150	1～4	
工程陶瓷	PCD	−5～−10	8～10	30～80	0.5～1.5	0.05～0.2
	PCBN					
砂轮	PCD	0～−8	8～10	30～50	1～5	0.5～1.5
	PCBN					
硬质合金	PCD	0～−5	6～8	20～35	0.5～1.5	0.05～0.15
	PCBN					
高强度钢	G	0～5	8～12	3～10	0.2～4	0.1～0.4
	YT	5～10	6～8	10～80	0.2～3	0.1～0.5
	T	−5～−8		20～120		0.1～0.2
	PCBN	0～−5		40～200		

注：1．刀具材料代号说明

G—高速钢；

YT—钨钛钴硬质合金；

YG—钨钴类硬质合金；

YS—超细硬质合金；

YW—通用硬质合金；

T—陶瓷；

PCD—人造聚晶金刚石复合片；

PCBN—立方氮化硼复合片。

2．参数选择说明

（1）粗车时，选用低的切削速度，大的背吃刀量和进给量。

（2）精车时，选用高的切削速度，小的背吃刀量和进给量。

（3）高速钢刀具精车时采用小于 10m/min 的切削速度，以控制积屑瘤产生，降低钢件表面粗糙度值。

（4）对铸钢件，粗车应选比较低的切削速度。

（5）断续切削时，刀具前角适当减小。

（6）刀具材料抗弯强度低，γ_o应减小到 0°～5°。

参 考 文 献

[1] 张伟．数控机床零件加工[M]．北京：北京邮电大学出版社，2012．

[2] 程启森，范仁杰．数控加工工艺编程与实施[M]．北京：北京邮电大学出版社，2013．

[3] 杨海琴，侯先勤．FANUC 数控铣床编程及实训精讲[M]．西安：西安交通大学出版社，2010．

[4] 侯先勤．FANUC 数控车床编程及实训精讲[M]．西安：西安交通大学出版社，2010．

[5] 袁锋．数控车床培训教程[M]．北京：机械工业出版社，2007．

[6] 任国兴．数控车削加工工艺与编程操作[M]．北京：机械工业出版社，2006．

[7] 沈建峰，虞俊．数控车工（高级）[M]．北京：机械工业出版社，2008．

[8] 吴长有．数控车床加工技术[M]．北京：机械工业出版社，2010．

[9] 杨海琴，侯先勤．SIEMENS 数控铣床编程及实训精讲[M]．西安：西安交通大学出版社，2010．

[10] 杨海琴，侯先勤．SIEMENS 数控车床编程及实训精讲[M]．西安：西安交通大学出版社，2010．

[11] 蒋建强，张义平．数控编程实用技术[M]．北京：北京交通大学出版社，2009．

[12] 沈建峰，金玉峰．数控编程 200 例[M]．北京：中国电力出版社，2008．

[13] 陈建军．数控铣床与加工中心操作与编程训练及实例 [M]．北京：机械工业出版社，2008．

[14] 周虹．数控编程与实训[M]．北京：人民邮电出版社，2008．

[15] 徐建高．数控车削编程与考级（SINUMERIK 802S/802C 系统）[M]．北京：化学工业出版社，2006．

[16] 朱明松．数控车床编程与操作项目教程[M]．北京：机械工业出版社，2008．

[17] 朱明松，王翔．数控铣床编程与操作项目教程[M]．北京：机械工业出版社，2008．

[18] 陈艳红．数控编程与加工技术[M]．北京：中国科学技术出版社，2010．

[19] 邓建新，等．数控刀具材料选用手册[M]．北京：机械工业出版社，2005．

[20] 叶云良，等．国家职业资格证书取证问答 车工（初中级）[M]．北京：机械工业出版社，2006．

[21] 周振才，等．国家职业资格证书取证问答 铣工（初中级）[M]．北京：机械工业出版社，2007．

[22] 张立新，何玉忠．数控加工进阶教程[M]．西安：西安电子科技大学出版社，2008．

[23] 詹华西．数控加工与编程[M]．西安：西安电子科技大学出版社，2004．

[24] 张超英，谢富春．数控编程技术[M]．北京：化学工业出版社，2004．

[25] 冯志刚．数控宏程序编程方法、技巧与实例[M]．北京：机械工业出版社，2008．

[26] 顾晔．数控加工编程与操作[M]．北京：人民邮电出版社，2009．

[27] 穆国岩．数控机床编程与操作[M]．北京：机械工业出版社，2008．



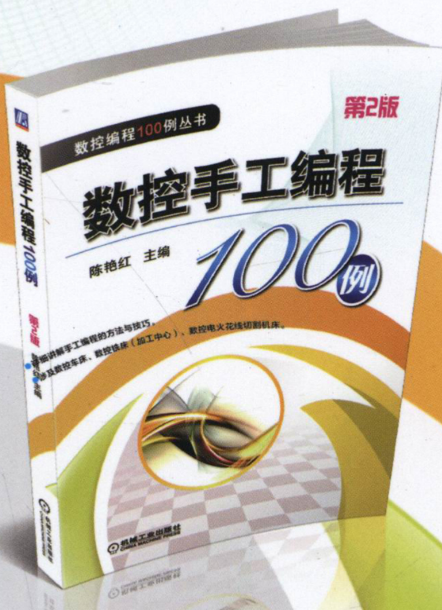
978-7-111-37717-7 28.00元



978-7-111-36196-1 36.00元



978-7-111-44408-4 69.00元



978-7-111-47245-2 59.00元

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心: 010-88361066
销售一部: 010-68326294
销售二部: 010-88379649
读者购书热线: 010-88379203
网络服务
教材网: http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

上架指导： 工业技术／机械工程／数控技术
ISBN 978-7-111-47245-2
策划编辑◎周国萍



定价：59.00元